

Gestión y manejo de cuencas



Directorio

PRESIDENTE

M.V.Z. FRANCISCO DOMÍNGUEZ SERVIÉN

VICEPRESIDENTE

LIC. JOSÉ ALFREDO BOTELLO MONTES

DIRECTOR GENERAL

M. EN A. RAÚL ITURRALDE OLVERA

SECRETARIO

LIC. MAURICIO PALOMINO HERNÁNDEZ

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 10 núm. 27, abril de 2019, *Nthe* es una publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ): calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000; tel. (442) 214 3685; www.concyteq.edu.mx; nthe@concyteq.edu.mx. Editora responsable: Alicia Arriaga Ramírez. Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2018-111410321700-203; ISSN 2007-9079, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Alicia Arriaga Ramírez: calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000. Fecha de última modificación: julio de 2019.

Nthe ha sido aprobada para su inclusión en el Índice del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX)

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación siempre y cuando se cite la fuente.

DIRECTOR DE LA REVISTA ELECTRÓNICA NTHE

DR. MARCO ANTONIO CARRILLO PACHECO

EDICIÓN Y DISEÑO DE LA PUBLICACIÓN

D.G. ALICIA ARRIAGA RAMÍREZ

CORRECCIÓN DE ESTILO

LIC. KARINA MONSERRAT ACUÑA MURILLO

LIC. LAURA PAULINA LIMÓN FIGUEROA

DRA. MARÍA LUISA ÁLVAREZ MEDINA

Nthe. Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro:
<http://www.nthe.concyteq.edu.mx/revista.php>

Luis Pasteur Sur núm. 36
Col. Centro, CP 76000
Tel. 52 (442) 214 3685 / 212 7266, ext. 105
Querétaro, Qro., México

Consejo editorial

Locales

Dr. Alejandro Manzano Ramírez
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional-unidad Querétaro

Dra. Flora Mercader Trejo
Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Dr. Sergio Barrera Sánchez
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey-campus Querétaro

Dra. Martha Cruz Soto
Universidad del Valle de México-campus Querétaro

Dra. Gabriela Calderón Guerrero
Facultad de Psicología, UAQ

Dr. Víctor Castaño Meneses
Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM-campus Juriquilla

Dr. Rolando Salinas García
Unidad Multidisciplinaria de Estudios Sobre el Trabajo, UAQ

Dr. Miguel Martínez Madrid
Instituto Mexicano del Transporte, SCT

Dr. Daniel Hiernaux Nicolás
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UAQ

Dr. Gabriel Corral Velázquez
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UAQ

Dr. Salvador Echeverría Villagómez
Centro Nacional de Metrología

Dr. Alberto Traslosheros Michel
Universidad Aeronáutica en Querétaro

Dra. Alejandra Urbiola Solís
Facultad de Contaduría y Administración, UAQ

Dr. Jöns Sánchez Aguilar
Instituto Tecnológico de Querétaro-Tecnológico Nacional de México

Mtro. Octavio López Millán
Instituto Tecnológico de Hermosillo

Dra. Marcela Hernández Romo
Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa

Mtra. Martha Díaz Muro
Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico Nacional de México

Dr. Sergio Sandoval Godoy
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sonora

Externo

Dr. Víctor Hugo Muciño Quintero
Universidad de West Virginia

La revista electrónica *Nthe* es financiada en su totalidad por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro en el marco del presupuesto autorizado el día 19 de diciembre de 2018.

Comité de evaluadores

Dra. Helena Cotler Ávalos

Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, CentroGeo

Dr. Jaime Jesús Carrera Hernández

Centro de Geociencias, UNAM, campus Juriquilla

Dra. Citlalli Aidee Becerril Tinoco

Catedrática CONACYT; Consorcio Centro MET

Dra. Esperanza Martínez Cano

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Portuaria, Marítima y Costera (CIDIPORT), Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López

Centro de Investigaciones del Agua, CIAQ; Universidad Autónoma de Querétaro

M.I. Tania Paola Robles Montero

Tecnologías Hidráulicas INESPROC S.A. de C.V.

Dra. Delva Guichard Romero

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas

Dr. Luis Manuel Martínez Rivera

Doctorado en Biosistemática, Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara

Dra. Dora Esther González Turrubiates

Facultad de Ingeniería "Arturo Narro Siller", Universidad Autónoma de Tamaulipas

Dra. María Elena Pérez López

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, IPN, unidad Durango

Dr. Rafael Huizar Álvarez

Instituto de Geología, UNAM

Dra. Patricia Moreno-Casasola Barceló

Red de Ecología Funcional, Instituto de Ecología A.C.

Ing. Emiliano Sánchez Martínez

Jardín Botánico Regional de Cadereyta "Ing. Manuel González de Cosío"; CONCYTEQ

Dr. José Alejandro Zavala Hurtado

División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa

Dr. Alfonso Valiente Banuet

Departamento de Ecología de la Biodiversidad, Instituto de Ecología, UNAM

Dr. Armando Rivas Hernández

Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Dr. Francisco J. Rodríguez Valadez

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica SC.

Comentario *Nthe*

Presentamos a nuestros estimados lectores la edición especial número 27, con el título *Gestión y manejo de cuencas*, coordinada por el Dr. José Luis Miranda Jiménez, y de compilación conjunta con el Dr. Gonzalo Hatch Kuri, Dr. Raúl Francisco Pineda López y el Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero, Profesores-Investigadores del Programa de Posgrado Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (MAGIC, posgrado PNPC-CONACYT), Facultad de Ciencias Naturales (FCN) de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). Los artículos que se han seleccionado para este número muestran avances importantes de diversos proyectos de investigación inter y multidisciplinarios en la temática de cuencas hidrográficas, liderados por diferentes profesores-investigadores de la MAGIC-UAQ.

Por lo anterior, durante estas páginas encontramos a Dorantes, Reséndiz, Rodríguez y García, quienes plantean un modelo de percepción social sobre cactáceas y crasuláceas en la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda de Guanajuato; a Santos y Osorno, quienes analizan el aprendizaje-servicio, así como la valoración y uso de especies nativas en cuencas urbanas; a Neri, Pineda y Hernández, quienes describen las interacciones entre agua subterránea y agua superficial por medio de un hidrógrama para el río Querétaro; Michel y Hernández nos presentan un estudio de vulnerabilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en la microcuenca Menchaca, Querétaro; a Domínguez, Pineda, Batalla y Miranda que, a su vez, exponen la prioridad ambiental de las microcuencas, como estrategia de oportunidad para Querétaro; finalmente, a Sánchez, Hatch y Luna que analizan la relación entre el agua y el poder sobre el control del agua subterránea en el Valle de Amazcala, Querétaro.

Esperamos que las contribuciones de la presente edición fortalezcan el quehacer científico, profesionalizante y de vinculación social. Además, que coadyuve a la comprensión de los impactos socioambientales y las problemáticas complejas aquí analizadas, así como a motivar el estudio de las cuencas como unidades de planeación y gestión del desarrollo.

Dr. Marco Antonio Carrillo Pacheco
Director de la Revista *NTHE*

ÍNDICE

Gestión y manejo de cuencas

Percepción social sobre cactáceas y crasuláceas en la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda de Guanajuato 1

José Carlos Dorantes Castro, Mariana Reséndiz Velázquez, María Fernanda Rodríguez Jiménez y Oscar R. García Rubio

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas; Lic. Estudios Socioterritoriales; Lic. Geografía Ambiental; Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ. Querétaro, México

Aprendizaje-servicio, valoración y uso de especies nativas en cuencas urbanas 7

Esther Santos Vargas y Tamara Guadalupe Osorno Sánchez

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Facultad de Ciencias Naturales, UAQ, campus Aeropuerto. Querétaro, México

Interacciones entre agua subterránea y agua superficial: análisis del hidrograma del río Querétaro 13

Iris Neri Flores, Raúl Francisco Pineda López, Juan Alfredo Hernández Guerrero

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ. Querétaro, México

Vulnerabilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en la microcuenca Menchaca, Querétaro 20

Anthony Philippe André Michel y Juan Alfredo Hernández Guerrero

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Facultad de Ciencias Naturales, UAQ. Querétaro, México

Agua y poder: el control del agua subterránea en Amazcala 27

Julio César Sánchez Angulo, Gonzalo Hatch Kuri y Hugo Luna Soria

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Facultad de Ciencias Naturales, UAQ. Querétaro, México

Priorización ambiental de microcuencas: una oportunidad para Querétaro 33

Miguel Ángel Domínguez Cortázar, Raúl Francisco Pineda López, Gabriela Batalla Camargo, José Luis Miranda Jiménez

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

Dedicatoria

Es un honor para la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (MAGIC), de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), dedicar esta edición especial (vigésimo séptima) de la revista electrónica *Nthe* al Dr. Raúl Francisco Pineda López, profesor e investigador, excoordinador y fundador de la MAGIC-UAQ, por compartir en todo momento su experiencia, conocimiento y entusiasmo con nosotros y por motivarnos a ser mejores cada día.

Con admiración de tus alumnos, exalumnos, compañeros y amigos.

Percepción social sobre cactáceas y crasuláceas en la Reserva de la Biósfera Sierra Gorda de Guanajuato

José Carlos Dorantes Castro¹, Mariana Reséndiz Velázquez²,
María Fernanda Rodríguez Jiménez³ y Oscar R. García Rubio⁴.

¹ Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ.

² Estudiante Lic. Estudios Socioterritoriales, UAQ.

³ Estudiante Lic. Geografía Ambiental, UAQ.

⁴ Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, UAQ.
Querétaro, México

Resumen

La Reserva de la Biósfera Sierra Gorda de Guanajuato (RBSGG) alberga una cantidad significativa de cactáceas y crasuláceas; muchas de ellas se encuentran bajo alguna categoría de riesgo o endémicas. Se registraron 53 especies de ambas familias, de las cuales 9 tienen alguna categoría de riesgo y 5 son endémicas. Las localidades más importantes para su conservación son Xichú, Atarjea y El Realito. Respecto de la percepción social de los habitantes de estas comunidades, hay una idea generalizada sobre los beneficios de su conservación, incluso existe una organización interna para su cuidado. Sin embargo, también se usan en diversos contextos (ornato, alimentación) y que, en suma con otras presiones antrópicas, ejercen una presión negativa para su conservación.

Palabras clave: Áreas naturales protegidas, conocimiento tradicional, endémica, percepción.

Abstract

The RBSGG hosts a significant amount of cacti and succulents, many of them under some risk category or endemic. Fifty-three species from both families were registered, nine under some risk category and five endemic. The most important localities for the conservation of succulents are Xichú, Atarjea and El Realito. Social perception of the inhabitants of these communities tends to their conservation; there is even an internal organization for their care. However, these plants are also used in other contexts (ornamental, food), which in addition to other anthropic actions, exerts a negative pressure against their conservation.

Keywords: *Endemic, Natural protected areas, Perception, Traditional knowledge.*

Artículo arbitrado

Recibido:
10 de abril de 2019

Aceptado:
09 de julio de 2019

Introducción

En la década de los años setentas del siglo pasado, México se sumó al programa de la UNESCO “El Hombre y la Biósfera”, lo que implica que la conservación debe vincularse a los objetivos del desarrollo regional y, por ello, los habitantes se deben comprometer activamente en un papel dual: responsables y beneficiarios. En éste, se agrupa a la red mundial de reservas de la biósfera (que suman 669); a pesar de este destacado logro, en buena parte de las áreas protegidas, continúan vigentes los conflictos entre las poblaciones locales afectadas por los respectivos decretos gubernamentales y la administración de las reservas. Algunos autores refieren que no se trata de reducir los esfuerzos conservacionistas a la mera implantación de áreas aisladas, sino de crear un sistema de conservación biorregional, donde las Áreas Naturales Protegidas (ANP) se articulen y coexistan con varios sistemas de manejo de recursos naturales con diferentes grados de impacto, en una fórmula que concilie y conjugue la conservación con la producción y el desarrollo sustentable (Pinkus *et al.*, 2014).

En México, la Reserva de la Biosfera Sierra Gorda de Guanajuato (RBSGG) es una de las más importantes por su biodiversidad. Fue decretada así en 2007 y con 236 mil 882 ha, abarca parte de los municipios de Victoria, San Luis de la Paz, Xichú, Santa Catarina y Atarjea. Los ecosistemas dominantes son el matorral xerófilo, matorral submontano, bosques de encino y pino, selva baja caducifolia y subcaducifolia. Es de particular relevancia la diversidad de cactáceas y crasuláceas (26 y 18 especies respectivamente), sobre todo porque algunas especies presentan tamaños poblacionales reducidos o su uso ejerce una presión negativa para su conservación.

En suma a su extensión geográfica y su importancia biológica, la reserva tiene unas 200 comunidades con menos de 150 habitantes. De acuerdo a la Secretaría de Desarrollo Social¹, se catalogan con un grado de marginación 5; es decir, el de mayor pobreza. Las

presiones antrópicas sobre la flora (*e. g.* cambio de uso de suelo, actividades agropecuarias) ponen en peligro la conservación de las especies raras o endémicas. Por ello, el principal objetivo de este estudio fue conocer la percepción que tienen los habitantes de la reserva sobre la conservación de las cactáceas y crasuláceas que se encuentran bajo alguna categoría de riesgo o que son endémicas para la RBSGG; así como también, de las conocidas que se encuentran en riesgo por diversas actividades antrópicas. Para ello, se hizo una exploración botánica y un análisis de la riqueza de ambas familias, que permitió ubicar las áreas de mayor relevancia para su conservación.

Métodos

Búsqueda de especímenes e identificación de áreas de alta riqueza florística

Se conformó una base de datos de ambas familias a partir de diversas fuentes documentales, colecciones de herbarios, consultas con expertos y la exploración botánica. Todas las especies ubicadas fueron georreferenciadas. Los especímenes se identificaron en campo; para corroborar algunas especies, se herborizaron y se integraron a la colección del Herbario “Dr. Jerzy Rzedowski” (QMEX).

Para ubicar las áreas que presentan una mayor cantidad de especies bajo alguna categoría de riesgo y/o raras, se calcularon los índices de Frecuencia Regional, Amplitud Geográfica y Rareza Regional (Sánchez-Martínez *et al.*, 2006). El área de la RBSGG se dividió de forma arbitraria en 31 subcuadrantes, con una dimensión de 11.07 x 10.35 km² cada uno, en los que se contó el número de especies y su número de individuos para calcular los índices mencionados. En este análisis, sólo se tomaron en cuenta 28 especies, las especies enlistadas en la NOM-059, las que se consideran endémicas y las de interés debido a su alto potencial ornamental (*e. g.* *Altamiranoa jurgensenii*, *Villadia acuta*, *V. cucullata*, *V. levis* y *V. patula*). La estimación de los índices de diversidad y de igualdad se hizo con el programa *Past* 3.08.

¹ <https://www.proceso.com.mx/206619/la-sierra-gorda-de-guanajuato-el-area-natural-prottegida-mas-importante-de-mexico>.

Percepción social

Para contextualizar la dimensión de la percepción social de los habitantes de la RBSGG, se exploraron aquellos elementos que integran la personalidad y actitudes de las personas, con lo que se generó una visión del mundo que es al mismo tiempo individual y social, así como representativa de su contexto.

Para indagar sobre la percepción social de la conservación y uso de las cactáceas y crasuláceas, así como de las iniciativas para disminuir su extracción, se hicieron entrevistas semiestructuradas a actores clave de la RBSGG (funcionarios municipales, comisariados ejidales, delegados y líderes comunitarios) y población en general. Las entrevistas se iniciaron con las siguientes preguntas: ¿cuáles son algunos de los nombres comunes con los que los habitantes nombran a estas plantas?, ¿cuál es el ciclo de recolección de las especies asociadas a actividades productivas? Dentro de las zonas de interés en la reserva, ¿cuáles son las zonas con mayor presencia identificadas por los habitantes?, ¿qué especies se encuentran relacionadas con actividades productivas y comerciales? y por último, ¿cuál es el sentir de la gente sobre la problemática de extracción y comercialización de algunas de estas especies? También se les cuestionó sobre las intenciones, proyectos y expectativas para su conservación, con la finalidad de explorar cuáles podrían ser algunas de las prioridades para implementar proyectos productivos en la región.

Resultados y discusión

Diversidad de cactáceas y crasuláceas

Se ubicaron 53 especies de suculentas (32 cactáceas y 21 crasuláceas); 9 especies se encuentran en la NOM 059 para especies en riesgo y cinco son consideradas endémicas (Tabla 1). Se georreferenciaron 421 puntos para ubicar las áreas con mayor valor biológico.

El análisis de la diversidad de suculentas, mostró que los subcuadrantes 22, 31, 13, 28 (con 16, 13, 12 y 10 especies, respectivamente), situados cerca de las comunidades de Xichú, Atarjea y sus alrededores

presentaron el mayor número de especies (Figura 1). En ellos, se registraron los índices de diversidad más elevados ($H= 2.37, 2.435, 2.382$ y 1.908 , respectivamente). Los cuadrantes 3, 23 y 29 mostraron valores medios de diversidad ($H= 1.609, 1.583$ y 1.474 respectivamente). Los cuadrantes con una mayor equitatividad fueron el 3 y 13, donde no domina ninguna de las especies consideradas; por el contrario, en los cuadrantes 22 y 28 dominan *Mammillaria orcuttii* y *Sedum moranense*.

Familia	Especie	Estatus NOM-059	Usos
Cactaceae	<i>Astrophytum ornatum</i>	A	Ornamental
	<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Pr	Ornamental, alimentación
	<i>Ferocactus histrix</i>	Pr	Ornamental, alimentación
	<i>Ferocactus haematacanthus</i>	Pr	Ornamental
	<i>Mammillaria candida</i>	A	Ornamental
	<i>M. hahniana</i>	A	Ornamental
	<i>M. longimamma</i>	A	Ornamental, alimentación
	<i>M. orcuttii</i>	Pr	Ornamental
	<i>M. schiedeana</i> var. <i>schiedeana</i>	A	Ornamental
	<i>Strombocactus disciformis</i> var. <i>esperanzae</i>	Microendémica	Ornamental, medicinal
	<i>Turbincarpus alonsoi</i>	Microendémica	Ornamental
Crasulaceae	<i>Echeveria walpoleana</i>	Endémica	Ornamental
	<i>E. xichuensis</i>	Microendémica	Ornamental
	<i>Sedum clausenii</i>	Endémica	Ornamental

Tabla 1. Especies de cactáceas y crasuláceas bajo alguna categoría de riesgo o endemismo. Fuente: elaboración propia.

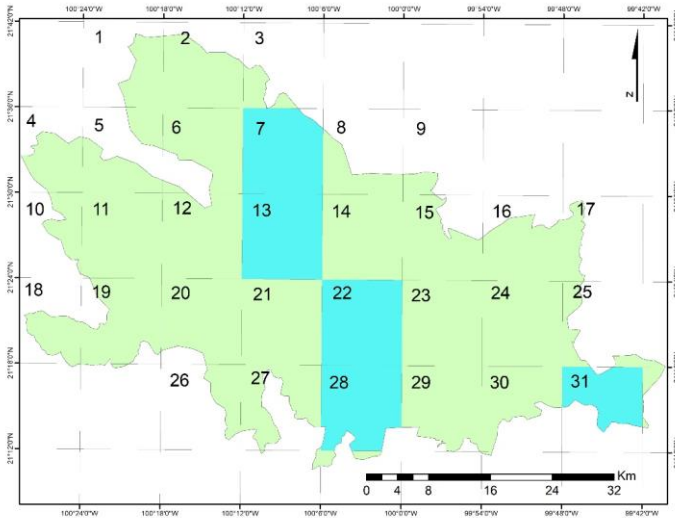


Figura 1. Cuadrantes con mayor biodiversidad (azul).
Fuente: elaboración propia.

Identificación de especies a partir de nombres comunes

Para las cactáceas, hay una asociación muy importante para nombrarlas de manera común, entre la forma de la planta, el tamaño, su fruto, la temporada del año donde es más factible encontrarla, o incluso su edad. Por ejemplo, en los alrededores de la cabecera municipal del Xichú, se encuentra *Strombocactus disciformis* var. *esperanzae* conocido localmente como “biznaga trompo” o “peyote brujo”. Además de estar asociada con propiedades medicinales, los habitantes la identifican como una de las más difíciles de encontrar. Su pequeño tamaño (3-8 cm), así como los lugares donde suele crecer (a nivel de suelo y a la sombra de rocas), la convierten en una de los más escurridizas: “Que yo sepa en el lugar donde se da este tipo es en las cercanías de la comunidad de Las Adjuntas (Xichú), ahí sí, incluso en la carretera vas caminando y si pones atención las puedes encontrar, pero no se ven muy fácil. Salen al ras del suelo, la flor también” (habitante de Xichú, octubre 2018).

En este mismo sentido, en San Luis de la Paz y Victoria, se encuentra *Ferocactus histrix*, nombrada “biznaga borrachita” o “barril de acitrón”. La planta es nombrada por su forma redonda y por el dulce que se elabora de ella. Si bien es cierto que en la región semidesértica de la reserva hay una población

grande, las personas de las comunidades y ejidos son conscientes de su importancia ecológica y de las sanciones por su extracción ilegal: “normalmente la encontramos en el cerro, pero nos han dicho es que es una mata que tarda muchos años en crecer, y además está prohibido arrancarlas, nosotros nada más recolectamos los huamishis” (habitante de Corralillos, municipio de Victoria, septiembre 2018).

Ciclo de recolección de las plantas y ubicación de las zonas con presencia de plantas

Los ciclos de recolección, tanto de las plantas como de sus frutos o flores, se encuentran relacionados con las actividades y temporalidades productivas, y a veces rituales que practican en la reserva. Como se mencionó, algunas de las especies consideradas aquí tienen una serie importante de usos que van desde los gastronómicos hasta los productivos. Un ejemplo claro de ello sucede en el municipio de Victoria, en las comunidades de Cerro Grande y Corralillos. En esta zona, crecen *Echinocactus platyacanthus* y *F. histrix*, que durante los meses de abril a junio, producen frutos que son recolectados por algunos habitantes de estas comunidades (y seguramente de otras del municipio).

Aunque principalmente es para consumo doméstico, en una buena temporada es posible encontrar plantas que producen entre tres y cuatro cubetas de 20 litros de fruta. “Sí, todos los años salimos a recolectar, solamente que sí está lejos... más o menos como a una o dos horas caminando. ¿Ubica el lindero con Tierra Blanca? Ahí hay, y también con Santa y Dr. Mora” (habitante de Corralillo, municipio de Victoria, septiembre 2018).

En el municipio de Xichú, destaca la “biznaga trompo”, planta que las personas identifican con usos medicinales y rituales. En esta zona, a decir de los entrevistados, es muy común la extracción de cactáceas en pequeñas cantidades (e. g. *Astrophytum ornatum*, *Echeveria coccinea*, *Mammillaria candida*, *M. orcuttii* y *Sedum corynephyllum*), pues se usan como plantas de ornato localmente y para los turistas.

Las sanciones y permisos por extraer plantas y sus derivados, en algunos de los casos, están en función de tipo de tenencia de la tierra. En la RBSGG hay propiedad privada y ejidal; en algunos ejidos, como Corralillos, la misma asamblea ha definido la prohibición de extraer las plantas (pues se encuentran informados de las sanciones federales aplicables), pero no así con los frutos. Sin embargo, esto aplica no sólo para los ejidatarios y avecindados, sino también para gente de ejidos y comunidades vecinas que, de forma, recurrente traspasan los linderos para recolectar.

Actividades productivas y comerciales de las especies

En la RBSGG, las actividades de extracción y consumo se encuentran ligadas al contexto de autoconsumo. Sin embargo, en algunas comunidades como Xichú, la recolección de los frutos del “barril de acitrón” tiene una finalidad comercial en la cual participan varios miembros de la comunidad: “De la que más se recolecta es esta, la biznaga barril, pero eso no crece mucho, crecen las matitas de unos 50 cm por otros 50 cm de ancho. En el camino de Ojo de Agua ahí sí se encuentran unos manchones de hasta unas 10 juntas... Por ejemplo, esa parte de la recolección la hacen más los niños, donde los fines de semana van y recolectan para luego venderlas. Si traen uno de 20 litros, cuando apenas está empezando la temporada hasta 200 pesos sacas, si no hay mucha llega hasta 100 ó 130” (habitante de Xichú, octubre 2018).

Si bien es cierto que estas actividades son comunes, se presentan más en las comunidades rurales, mientras que en las cabeceras municipales, con presencia de dinámicas y procesos relacionados con el contexto urbano, su manejo se ha dado de forma diferente. Durante los recorridos de campo se ubicaron personas dedicadas a la venta de cactáceas y crasuláceas. Sin embargo, es importante mencionar que la mayoría son acompañadas de una etiqueta donde puede verse el registro del vivero que las reproduce. Asimismo, los vendedores están conscientes de las sanciones aplicadas a quienes se dedican a extraer plantas silvestres, pues ante los

cuestionamientos del origen de las mismas el primer argumento es mostrar el registro y decir que “ya no dejan” o “están protegidas”.

Percepción sobre la extracción y la conservación

Uno de los casos más representativos es el de *E. platyacanthus*, la “biznaga burra”. Si bien está presente en gran parte de la reserva, habitantes de las localidades aledañas a la cabecera municipal del municipio de Victoria señalan que se colecta del campo. A decir de los entrevistados, la zona de extracción se encuentra en los límites con el municipio de Dr. Mora, y el dueño de los predios dice tener en su poder un permiso de extracción firmado por las oficinas centrales de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales². “Sí, ya tiene como unos seis o nueve años y todavía sigue sacando. Ahorita como que se ha disminuido la que baja pero sí sigue bajando poquito en poquito y es que no hace mucho estaba bajando por Dr. Mora, como colindan los terrenos para allá, bajan para aquel lado. Ya desde este lado no se veía pero estaban trabajando de aquel lado” (habitante de Cerro Grande, municipio de Victoria, septiembre 2018).

Por otro lado, en los límites con Río Verde, S.L.P. algunas comunidades del municipio de Victoria; como Álamos, El Realito, y Rancho Viejo, han implementado junto con la CONANP Comités de Vigilancia, que a pesar de enfrentar problemáticas complejas (cacería ilegal, minería, tala clandestina, extracción de flora y fauna), han logrado tener un impacto en sus comunidades. Si bien en algún momento funcionaron varios comités, hoy en día son pocos los que aún persisten, como es el caso de Rancho Viejo, quienes tienen ubicadas zonas de extracción ilegal de cactáceas y crasuláceas. Sin

² Este caso ha tenido repercusiones a nivel incluso nacional, teniendo menciones en medios como La Jornada o Proceso. Incluso, existe una página de Facebook llamada “Guardianes de Los Cerros”, que se dedica a publicar denuncias ciudadanas sobre problemáticas ambientales y sociales en todo el país. En dicha página se le da seguimiento de manera constante al caso de la extracción de *Echinocactus* en el municipio de Victoria.

embargo, existen casos como el del ejido de Carricillo, en el municipio de Atarjea, donde el Comité de Vigilancia tiene varios años desintegrado por falta de seguimiento y apoyo; tanto por parte de las instituciones como del interés de los mismos habitantes.

Conclusiones

La exploración botánica de las familias *Cactaceae* y *Crasulaceae* confirmó la importancia de la RBSSG para su conservación, pues alberga un número significativo de ellas. Las localidades más relevantes para su conservación son Xichú, Atarjea y sus alrededores, y las áreas cercanas a la presa de El Realito.

El contexto socioambiental de la RBSSG es complejo; en este sentido, las percepciones sociales en cuanto a las especies consideradas para la presente investigación son diversas. Claramente hay una relación intrínseca entre los nombres comunes que los habitantes reconocen y las formas, colores y usos de las distintas especies; así como su posición y abundancia en el paisaje. Sin embargo, en términos de los usos de ornato y extracción de planta, el tamaño de las mismas es determinante a la hora de elegirla como parte de un recuerdo turístico de la reserva, o usarla en los rituales religiosos como parte de los adornos regionales. Asimismo, su comercialización y reproducción acorde a las normas federales, se encuentra mediada por las sanciones institucionales que existen alrededor de su extracción del contexto silvestre. Si bien la gente las vende con facilidad y a precios accesibles, los registros y permisos se han vuelto imprescindibles para su comercialización.

Cabe destacar que los esfuerzos del gobierno federal junto con las comunidades de la reserva para conservar y monitorear el estado y las actividades de extracción de estas especies han sido exitosos. En el Carricillo y en Rancho Viejo, hay evidencias sobre la generación procesos de concientización que no están atados a tiempos institucionales y el suministro de recursos para su ejecución. En estos dos casos, la preocupación por conservar el entorno después de

muchos años de actividades extractivas, ha trascendido no sólo a las dependencias gubernamentales, sino también generacionalmente, al incorporar a los jóvenes en estos procesos. Los próximos dueños del territorio.

Referencias

Pinkus-Rendón, M. J., Pinkus-Rendón, M. A., Ortega-Rubio, A. (2014). Recomendaciones para el manejo sustentable en las áreas naturales protegidas de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 60, pp.102-110.

Sánchez-Martínez, E., Chávez-Martínez, R. J., Hernández-Oria, J. G., y Hernández-Martínez, M. M. (2006). *Especies de cactáceas prioritarias para la conservación en la zona árida Queretano Hidalguense*. Querétaro: Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro.

Aprendizaje-servicio, valoración y uso de especies nativas en cuencas urbanas

Esther Santos-Vargas¹ y Tamara Guadalupe Osorno-Sánchez².
¹earborista@gmail.com y ²tamara.osorno@uaq.mx
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Facultad de Ciencias Naturales.
Universidad Autónoma de Querétaro. Campus Aeropuerto, Querétaro, Qro. México.

Resumen

El presente trabajo describe la experiencia de la aplicación de la propuesta educativa “aprendizaje-servicio”, en un taller de valoración y uso de especies nativas, para la reforestación de áreas verdes. Se contó con la participación de estudiantes de varios programas de estudio, en el Campus Aeropuerto, ubicado en la Microcuenca Menchaca.

El principal resultado fue la generación de un espacio que propició el intercambio de conocimiento y vivencias entre alumnos de diferentes programas académicos. A través de esta experiencia cada participante fomentó un vínculo con el ambiente, mediante sesiones teórico-prácticas que hicieron posible la intervención de la comunidad universitaria para mejorar su entorno.

Palabras clave: Cuenca, urbanización, vegetación, aprendizaje, servicio.

Abstract

This paper describes the experience of the application of the educational proposal "learning-service", in a workshop of valuation and use of native species, for the reforestation of green areas. It was developed at the Campus Aeropuerto (Universidad Autónoma de Querétaro).

The workshop facilitated the exchange of knowledge and experiences among students of different academic programs. Through this experience each participant creates a link with the environment, through theoretical-practical sessions that made possible the intervention of the university community to improve their environment.

Keywords: watershed, urbanization, vegetation, service-learning.

Artículo arbitrado

Recibido:	aceptado:
10 de abril de 2019	12 de julio de 2019

Introducción

En la Microcuenca Menchaca (MCM), en los últimos años, los desarrollos inmobiliarios han aumentado. Han ganado terreno en zonas naturales, que cumplen servicios importantes para la Zona Metropolitana. Por esa razón, resulta importante trabajar con acciones que promuevan la valoración, conservación y recuperación de estos espacios por sus propios habitantes (Santos y Osorno, 2016).

Geográficamente, esta microcuenca se ubica, al suroeste del Municipio de Santiago de Querétaro, México (Figura 1). Presenta plantas nativas como el mezquite (*Prosopis laevigata*), palo xixote (*Bursera fagaroides*), tepeguaje (*Lysiloma microphylla*), huizache (*Acacia farnesiana*) y patol (*Erythrina coralloides*), esta última considerada como amenazada (NOM-059-2010) (Martínez et al., 2015).

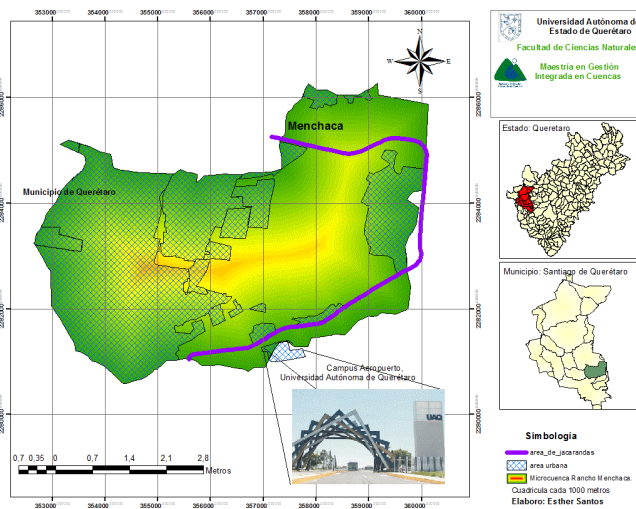


Figura 1. Mapa de la Microcuenca Menchaca. Fuente: Elaboración propia.

En la zona media de la MCM, se ubica el Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro, construido en lo que era el antiguo Aeropuerto de la ciudad, razón por la cual, su cubierta vegetal es escasa. Esta situación hace hostil la convivencia en el campus, ya que provoca que la comunidad universitaria no permanezca mucho tiempo en las instalaciones. Para revertir esta situación, se ha estado trabajando desde 2012 en diferentes reforestaciones. En 2015 se sumó a este trabajo la aplicación de la estrategia de Aprendizaje-

servicio, con el objetivo de concientizar a la comunidad universitaria de la importancia de emprender acciones en este sitio de la Microcuenca, así como de utilizar plantas nativas en reforestaciones urbanas.

El Aprendizaje-servicio puede orientar a los participantes a resolver los problemas de su comunidad, en tanto que se ofrece la posibilidad de explorar las interconexiones entre la teoría, estudiada en el aula, y la práctica enfocada a necesidades comunitarias. La investigación y la acción solidaria se configuran en torno a los problemas a resolver, de ese modo, se contribuye no sólo a romper el aislamiento entre los compartimentos disciplinares, sino también a generar nuevas instancias de diálogo entre los participantes que producen el conocimiento y sus usuarios en la realidad local; con lo anterior, se generan nuevos conocimientos que facilitan su apropiación por parte de la comunidad (Campo, 2014; Puig et al., 2014).

Se describe el caso de estudio de la puesta en marcha de la propuesta educativa Aprendizaje-servicio, en el Campus Aeropuerto de la Universidad Autónoma de Querétaro que forma parte de la Microcuenca Menchaca. Se realizó a través de la ocupación de un espacio del campus, donde se convocó a trabajar a la comunidad universitaria. En este espacio, a través de un taller, se tocaron temas que pretendían concientizar a los asistentes de las funciones que se llevan a cabo en el territorio, desde una perspectiva de cuenca y con énfasis en la importancia de una buena gestión de los espacios urbanos y de los elementos que los integran, como las plantas nativas.

Metodología

Para la aplicación de la propuesta se diseñó el programa de actividades, que incluyó cinco pláticas informativas con diferentes grupos a nivel licenciatura y maestría. Una encuesta de inicio aplicada a todos los estudiantes, un taller con duración de seis meses que se llevó a cabo en 12 sesiones y una encuesta de cierre, aplicada únicamente al grupo de trabajo.

Después de cada plática, se aplicó una encuesta a cada alumno (60 en total), para conocer el nivel de acercamiento de los estudiantes de diferentes programas con los temas antes mencionados.

El grupo multidisciplinario se conformó de 14 estudiantes de las licenciaturas de Geografía Ambiental, Horticultura Ambiental, Desarrollo Humano para la Sustentabilidad y la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. El plan de trabajo del taller consistió en sesiones teórico-prácticos, para lograr el entendimiento de las técnicas aplicadas a la reforestación urbana y todos los temas que involucran esta actividad.

Se abordaron los siguientes temas, algunos basados en el Manual de plantación de árboles en áreas urbanas (Alvarado et al., 2014).

1. Diagnóstico del área de estudio. Se realizó un recorrido por el campus, dando información de las diferentes reforestaciones que se han hecho. Se identificó la ubicación del sitio dentro de la Microcuenca Menchaca, y se comentó sobre las condiciones del suelo, el tipo de vegetación y las principales especies nativas.
2. Preparación de sustrato. Se conocieron los diferentes componentes de un sustrato.
3. Tratamientos pregerminativos y siembra de semillas. Se tocaron las bases ecológicas de los tratamientos pregerminativos y su influencia en la germinación. Además, se colectaron semillas de *Acacia farnesiana* y *A. schaffneri*.
4. Propagación por esqueje. Se abordó la definición, tipos, colecta y manejo del material vegetativo. Se colectó material vegetativo de diferentes especies como palo xixote (*Bursera fagaroides*), mezquite (*Prosopis laevigata*) y sangre de drago (*Jatropha dioica*).
5. Podas y cuidado de la salud de árbol urbano. Se presentaron diferentes técnicas para adecuar los árboles a las características de cada lugar.
6. Manejo de plantas en vivero. Se llevó a cabo el monitoreo del desarrollo de las plantas en el vivero.
7. Tipos de riego. Se expusieron los métodos de riego para los árboles y se aplicó e instaló uno de ellos.
8. Técnicas de establecimiento y trasplante de un árbol. Se habló de los pasos a seguir para la plantación de árboles en áreas urbanas.
9. Beneficios del árbol urbano. Se revisaron los servicios ambientales del arbolado para la microcuenca.
10. Reforestación en Campus Aeropuerto. En un área se llevó a cabo una reforestación con especies nativas.
11. Cierre y evaluación. Se aplicó una encuesta para evaluar los conocimientos adquiridos.

Resultados

Encuesta

Solo el 32% de los estudiantes que participaron en la encuesta piensa que, en Querétaro, la protección del medio ambiente es buena. El 97 % coincidió en las siguientes afirmaciones: las zonas verdes en la ciudad no son suficientes, las existentes son pequeñas y tienen un mal manejo, además, no se hace una buena planeación para establecerlas. La mayoría identificó que los árboles utilizados en los jardines y camellones de la ciudad, corresponden a especies exóticas y explicaron que son usadas debido a que presentan flores grandes y llamativas, lo cual, hace que tengan un alto valor de ornato.

El 89% de los participantes expresó tener interés por participar en actividades de reforestación. El objetivo de participar se centró en conocer más sobre las especies nativas, las técnicas de propagación y su uso en reforestaciones en áreas verdes urbanas. Esto se acoplo a la metodología Aprendizaje-servicio y permitió la conformación de un grupo con un enfoque variado (Tabla1).

Pregunta	Resultados	Observación
¿Qué nivel de protección del medio ambiente y sus recursos naturales existe en la ciudad de Querétaro?	14% nivel bajo. 54% nivel medio. 32% nivel alto.	Solo una tercera parte de los participantes consideran que se está protegiendo el medio ambiente y sus recursos.
La disposición de áreas verdes en la ciudad de Querétaro es suficiente para cubrir los servicios ambientales	97% considera que no es suficiente.	Principales causas: crecimiento de la mancha urbana, planeación inadecuada, extensiones pequeñas de áreas verdes y mal manejadas.
Características más relevantes de los árboles nativos.	Presentan menos requerimiento de riego y fertilizante que las especies exóticas.	El 7% del grupo identifica características de importancia ambiental: enriquecimiento del suelo, creación de microclimas y asociación con otras especies.
Características de los árboles exóticos.	Rendimiento mayor si están en condiciones apropiada, árboles con flores grandes y llamativas, mayores requerimientos de agua y nutrientes, con potencial a ser invasivo.	Identifican puntos clave como una fenología distinta a las especies nativas, costos elevados de mantenimiento, inclusión de plagas y enfermedades.

¿Qué árboles son los más utilizados en parques jardines y camellones en el estado?	Casuarina (<i>Casuarina equisetifolia</i>), ficus (<i>Ficus benjamina</i>), laurel de la india (<i>Ficus retusa</i>), jacaranda (<i>Jacaranda mimosifolia</i>), pino (<i>Pinus</i> sp), pirul (<i>Schinus molle</i>), huizache (<i>Acacia farnesiana</i>), mesquite (<i>Prosopis laevigata</i>).	Los participantes son conscientes de las especies presentes en el arbolado urbano.
¿Cuál es el proceso a seguir para una reforestación?	Selección adecuada de la especie, conocimiento de las características del árbol, preparación de sustrato, colocación adecuada del árbol, delimitación de la zona, riego y monitoreo.	El grupo cuenta con las nociones básicas para realizar una reforestación. Tienen conocimiento en distintos aspectos del proceso.
¿Te interesaría participar en actividades de reforestación? ¿Por qué?	89% tiene interés en participar en actividades de reforestación 11% no mostraron interés.	Los intereses del grupo se centran en el conocimiento de las especies nativas propagación, características y uso en reforestaciones en áreas verdes urbanas. Esto permitió la conformación de un grupo con un enfoque variado.

Tabla 1. Preguntas de interés con sus respuestas aplicadas.
Fuente: Elaboración propia.

Taller

Sesión 1. Se comentó que se han realizado actividades de reforestación desde el año 2012, gracias a las donaciones de plantas del vivero del Municipio de Colón y por el rescate y reubicación de especies nativas, con el apoyo de la Secretaría de Desarrollo Sustentable (SEDESU). Algunas de las especies con las que se ha trabajado son mezquite (*Prosopis laevigata*), palo xixote (*Bursera fagaroides*), tepeguaje (*Lysiloma microphylla*) y huizache (*Acacia farnesiana*).

Sesión 2. Los participantes asistidos por el asesor elaboraron su sustrato a base de tierra negra, tierra de hoja y arena (40%, 40% y 20%). Se obtuvo una mezcla homogénea para el llenado de sus contenedores. Se llenaron charolas y bolsas con sustrato para la siembra de semillas.

Sesión 3. Se realizaron tratamientos pregerminativos de algunas semillas de huizache (*Acacia farnesiana* y *A. schaffneri*). Se aplicó la escarificación térmica, por inmersión en agua caliente y mecánica, por incisión en la testa y lijado para desgastar la cubierta de la semilla. Además, se realizó siembra de semillas en contenedor y en charolas de 200 cavidades.

Sesión 4. Los participantes experimentaron con especies maderables, aromáticas y suculentas. Dependiendo del tipo de panta que eligió cada uno, se utilizaron los métodos de estaca para árboles, propagación por mata para aromáticas y hojas para suculentas. Al final todas las especies generaron raíz excepto *Prosopis laevigata*.

Sesión 5. Se ejecutaron podas de saneamiento, reducción y aclareo de copa; se hizo un diagnóstico de salud de los árboles. Además, se revisó que no presentaran plagas y enfermedades y se retiró el muérdago (*Psittacanthus calyculatus*) encontrado en los árboles.

Sesión 6. Las semillas germinadas en la sesión tres sirvieron para monitorear el crecimiento (incremento en diámetro y altura). Cuando las plantas estuvieron en condiciones, se realizó un trasplante a un contenedor más grande.

Sesión 7. Se diseñó un sistema de riego por goteo. Este sistema permitió humedecer los contenedores, aplicando agua, una a dos veces por día, de acuerdo con el tipo de sustrato y especie. La finalidad era la de cuidar el desarrollo de las plantas.

Sesión 8. Para realizar la reforestación se revisaron los siguientes pasos para plantar correctamente (figura 2):

- Ejecución del hoyo de plantación.
- Revisión del drenaje del hoyo.
- Retiro del recipiente o bolsa.
- Instalación del árbol en el centro del hoyo.
- Relleno del hoyo mediante el uso de la misma tierra o tierra mejorada.
- Formación de un cajete o bordo para la captación de agua.
- Colocación de tutores para árboles muy delgados.
- Aplicación de acolchado.
- Riego profundo para penetrar hasta el fondo del hoyo.
- Elaboración de un calendario de actividades para el mantenimiento (riego, deshierbe, fertilización, tutorado y poda).



Figura 2. Establecimiento de árboles en zonas urbanas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Reforestación aplicada en Campus Aeropuerto. Fuente: Elaboración propia.

Sesión 9. Se analizó la información sobre los beneficios de una reforestación, con énfasis en las ventajas del uso de especies nativas sobre las exóticas. Se destacaron los servicios ambientales, económicos, sociales y estéticos. Asimismo, se sumaron los beneficios culturales por considerar a las plantas nativas como parte de la identidad.

Sesión 10 y 11. En dos sesiones, se reforestó una zona del Campus Aeropuerto con huizache (*Acacia farnesiana*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*) y palo fierro (*Senna polyantha*). En esta práctica se involucró todo el equipo de trabajo, aplicando la mayoría de los aprendizajes

adquiridos a lo largo de las sesiones anteriores. Con esta actividad culminó la parte práctica del taller (figura 3).

Sesión 12. Los participantes compartieron sus perspectivas. Reconocieron que una limitante es lo difícil que puede ser encontrar plantas nativas en los viveros comerciales, para llevar a cabo reforestaciones adecuadas. Sin embargo, estas actividades benefician a toda la comunidad universitaria, añadieron también que sería bueno que los docentes fueran más participativos en este aspecto. Asimismo, consideraron importante reproducir esta experiencia en colonias cercanas, de la parte media y alta de la microcuenca, debido a que hay espacios que se pueden conservar y otros donde es importante restaurar la cubierta vegetal.

Pregunta	Resultados	Observación
¿Hay dificultad para conseguir plantas nativas en viveros locales?	No existe material vegetal en viveros locales, por falta de programas de propagación y manejo de plantas nativas.	No hay suficiente información sobre el uso y manejo de especies nativas, es difícil encontrar plantas con diámetros mayores a los 10 cm.
¿Cuáles son los principales beneficios de las reforestaciones con plantas nativas?	Conservar la biodiversidad. Las plantas se establecen mejor y prestan servicios, como la reducción del efecto isla de calor.	Tomaron en cuenta principalmente aspectos ambientales.
¿Quiénes son los beneficiarios al establecer árboles nativos, en del Campus Aeropuerto?	Alumnos, docentes, personal administrativo, el ecosistema y fauna local.	Mencionaron la importancia de involucrar a toda la comunidad en las actividades de reforestación.
¿Cuáles son las principales recomendaciones para establecer un árbol nativo en la zona urbana?	La elección adecuada de especie para el sitio, monitoreo y mantenimiento constante y un riego eficiente.	Reconocen la importancia de las características de las especies al momento de la selección.
¿Cuáles son las prácticas asociadas a la reforestación que aprendiste?	El tutorado del árbol para fortalecer el crecimiento del tallo y la poda posterior a la siembra.	Las dependencias de gobierno tienen que adaptar las técnicas, de acuerdo con las necesidades del sitio urbanizado.
¿Cuáles son las principales prácticas que disminuyen el costo de mantenimiento?	Sembrar el árbol correcto en el lugar correcto y la adecuada asociación de especies.	Consideran que hay que usar todas las características de cada especie para definir el sitio adecuado.
¿Principales técnicas implementadas dentro de su profesión?	Restauración de zonas perturbadas, colocación adecuada de árboles, manejo, propagación y establecimiento de diferentes especies.	Hay que reforzar las técnicas practicadas dentro del ámbito urbano
¿Cuál es el público al que es necesario impartir temas relacionados con la vegetación nativa en ambientes urbanos?	Colonias urbanas, dependencias de gobierno encargadas de los espacios verdes urbanos, arquitectos e ingenieros civiles.	Consideraron que la información debe ser difundida al público en general, ya que implica la mejora de las áreas verde.

Tabla 1. Resultados de la encuesta aplicada a los participantes al final del taller. Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Es necesario que las instituciones educativas promuevan, cada vez más, un aprendizaje basado en el contacto real con la sociedad y una participación efectiva en la solución de problemas. En este caso, cada participante fomentó un vínculo con su entorno cotidiano mediante sesiones teórico-prácticas que hicieron posible la intervención de la comunidad universitaria para mejorar el ambiente.

Después de haber concluido el taller, la participación de algunos alumnos se formalizó a partir de la elaboración de trabajos como una propuesta de la paleta vegetal del Campus Aeropuerto, en donde se documentan las especies utilizadas y las características que las hacen aptas para reforestaciones posteriores en microcuencas urbanas.

Este trabajo les dio a los participantes la oportunidad de poner en práctica los conocimientos adquiridos previamente en los programas donde están inscritos, asimismo, permitió un aprendizaje horizontal y activo, ya que, en las diferentes sesiones, tuvieron que intervenir para dar soluciones a inconvenientes o con propuestas que mejoraron los resultados.

Al manejar una perspectiva de cuenca para los estudiantes, fue más fácil relacionar las implicaciones de su trabajo a diferentes escalas.

Conclusión

Consideramos que, a partir de esta experiencia, se atendió una necesidad real, los participantes pudieron relacionar las actividades con sus estudios, hubo momentos de intensa actividad de aprendizaje y el resultado fue socialmente útil.

El Aprendizaje-servicio permitió tener impactos significativos en los participantes y en el área de estudio, mediante los cambios que ellos pudieron observar en su desarrollo personal y en el entorno. Fue posible poner en práctica, intercambiar y dar sentido a los aprendizajes con que contaban y los que pudieron adquirir.

Trabajar bajo esta estrategia les dio sentido de apropiación y pertenencia, no sólo por la reforestación, también por el uso de las especies

nativas, lo cual aseguró la valoración, mantenimiento y cuidado de las áreas verdes de Campus Aeropuerto. Con este trabajo se genera un antecedente, que puede ser reproducido en otras zonas urbanas de la microcuenca, que sean susceptibles a la reforestación.

Agradecimientos

Las autoras agradecen el apoyo al Fideicomiso Queretano para la Conservación del Medio Ambiente (FIQMA) por brindar materia vegetal al proyecto y al Fondo de Proyectos Especiales de Rectoría (FOPER) de la Universidad Autónoma de Querétaro por el apoyo con recursos para herramientas e insumos para el desarrollo de actividades.

Referencias

- Alvarado, O.A., Guajardo, B.F., y Devia, C.S. (2014). *Manual de plantación de árboles en áreas urbanas*. Santiago de Chile. Editorial Maval Ltda. Recuperado de http://www.conaf.cl/cms/editorweb/institucional/Manual_de_Plantacion_de_Arboles_en_Areas_Urbanas.pdf
- Campo, C.L. (2014). (Tesis doctoral inédita). Barcelona: Universidad de Barcelona. Recuperado de http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/57565/2/01.LCC_TESIS.pdf
- Martínez, D. M., Hernández, S. L., Pantoja, H. Y., Gómez, S. M., Bárcenas, L. R. y Cabrera, L. A. (2015). *Plantas nativas y naturalizadas de Querétaro*. Universidad Autónoma de Querétaro, Editorial Universitaria, Colección Academia. Santiago de Querétaro.
- NOM-059-SEMARNAT-2010. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*. Recuperado de http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5173091
- Santos, V. E. y Osorno, S.T. (2016). Hacia el uso de especies nativas en las áreas verdes de la zona metropolitana de Querétaro. *Nthe* Año 7. (13), 5-10. doi: ISSN 2007-9079.
- Puig, M. J., Martín, X., Rubio, L., Palos, J., Gijón, M., De la Cerda, M., y Mariona, G. (2014). *Rubrica para la Autoevaluación y la Mejora de los Proyectos de APS*. Facultad de Pedagogía, Universidad de Barcelona. España. Recuperado de: https://aprenentatgeservei.cat/wp-content/uploads/guies/aps_autoevaluacio_cast_mini_IMPA4.pdf

Interacciones entre agua subterránea y agua superficial: análisis del hidrograma del río Querétaro

Iris Neri-Flores¹, Raúl Francisco Pineda-López², Juan Alfredo Hernández-Guerrero³

¹irisneri@gmail.com; ²rufuspinedal@gmail.com; ³juan.hernandez@uaq.mx

^{1,2,3} Maestría en Gestión Integrada de Cuencas

Universidad Autónoma de Querétaro; Querétaro, México

Resumen

Los mecanismos de interacción entre las aguas superficiales y subterráneas son complejos y afectan los procesos de recarga y descarga. El objetivo de este estudio es identificar el caudal base del río Querétaro con base en el análisis de datos hidrométricos durante el periodo 1962-2014. La zona de estudio se restringe a la subcuenca del río Querétaro y al acuífero Valle de Querétaro, donde se localiza la estación hidrométrica 12558 (El Batán). Para la separación del caudal base, se aplicó un filtro digital y se consideraron los datos de elevación del nivel estático de las redes piezométricas. Los resultados muestran que el caudal base presenta una variación temporal. En este trabajo se calculó que el caudal base aporta al río 10.5 Mm³/año (para 1962-1988) y 7.1 Mm³/año (para el periodo 1989-2014), lo que indica que hay una tendencia a la disminución de caudal base. En el Valle de Querétaro, existe una importante demanda poblacional y actualmente se tiene que perforar en promedio 107 m para alcanzar el nivel estático del acuífero. Entender el funcionamiento de la interacción agua superficial-agua subterránea será la base para una mejor gestión del agua.

Palabras clave: interacciones río-acuífero, caudal base, hidrometría, piezometría

Abstract

The mechanisms of interaction between aquifers and watersheds are complex and affect the recharge and discharge processes. The objective of this study is to identify the base flow of Queretaro River based on the hydrometric data for the period 1962-2014. The study zone is in Queretaro River subbasin and the Queretaro's valley aquifer, where the gauge station 12558 (El Batan) is localized. In order to separate the base flow, a digital filter was applied and the data of groundwater elevation levels of the piezometric network were considered. The results show that base flow has a temporal variation. It was estimated that the base flow contributes 10.5 Mm³/year (for 1962-1988) and 7.1 Mm³/year (for 1962-2014). This indicates a decrease of runoff and the river depends on the aquifer. There is a strong population demand in Queretaro Valley, so the water resource will be more necessary; currently, the drilling to find water is 107 m average. Understanding the groundwater-surface water interactions will set the foundations for a better water management.

Keywords: river-aquifer interactions, base flow, hydrometric, piezometric

Artículo arbitrado

Recibido:
10 de abril de 2019

Aceptado:
16 de julio de 2019

Introducción

Los mecanismos de interacción entre las aguas superficiales y subterráneas son complejos y afectan los procesos de recarga y descarga; estas interacciones tienen importancia ecológica y la actividad humana puede afectarlas (Sophocleus, 2002). Las interacciones de ríos con el agua subterránea son gobernadas por las posiciones de los cuerpos de agua con respecto de los sistemas de flujo subterráneo. Con base en su posición relativa en el espacio, se reconocen tres sistemas de flujo: locales, intermedios y regionales (Tóth, 1999). Existen flujos en uno u otro sentido que se traducen en recarga (infiltración de agua hacia la zona de saturación) o descarga de los acuíferos (salida de agua subterránea en el cauce de los ríos o en el fondo del vaso de lagos, embalses o incluso en el mar). El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que llega a una corriente para ser drenada hasta la salida de la cuenca. Una parte del agua de precipitación que se infiltra se denomina escurrimiento subterráneo y es lo único que alimenta a las corrientes cuando no hay lluvias; por eso se dice que forma el escurrimiento base (Aparicio, 1992). En ríos perennes, el flujo base es en general continuo y presenta una condición efluente (el acuífero aporta al río). Los ríos intermitentes reciben agua solamente en ciertos periodos del año y pueden ser influentes (el río aporta al acuífero) o efluentes. Los ríos efímeros dependen solo del escurrimiento directo (Sophocleus, 2002).

Para caracterizar las interacciones agua superficial-agua subterránea, se emplean técnicas de separación del hidrograma (Killian *et al.*, 2019; Arnold, 1999). El objetivo de este estudio es calcular el caudal base del río Querétaro, con base en el análisis de la serie histórica de datos hidrométricos durante el periodo 1962-2014, para determinar la aportación del acuífero al río, considerando su marco hidrogeológico.

Zona de estudio

El estado de Querétaro pertenece a las regiones hidrológicas Pánuco y Lerma Santiago. La zona de estudio se restringe a la subcuenca del río Querétaro

(con una superficie de aportación de 2,355.60 km²) y al acuífero Valle de Querétaro. El río Querétaro nace en la porción centro occidental del estado y adopta un rumbo NE-SW que cambia a E-W al entrar al valle y atravesar la ciudad. Se ha calculado un volumen medio anual de escurrimiento de 15.97 Mm³/a y un volumen anual comprometido de 15.99 Mm³/a, por lo que su disponibilidad presenta un déficit de -0.02 (DOF, 2010). El acuífero Valle de Querétaro tiene una extensión de 484 km². Se ha calculado una recarga de 70 Mm³/a, así como las salidas en 137 Mm³/a, con una disponibilidad de -67.01 Mm³/a, que corresponde a déficit (CONAGUA, 2015).

En la figura 1 se presenta la localización de la subcuenca del río Querétaro, la estación hidrométrica El Batán (EH12258), la red piezométrica y la litología representativa de la subcuenca.

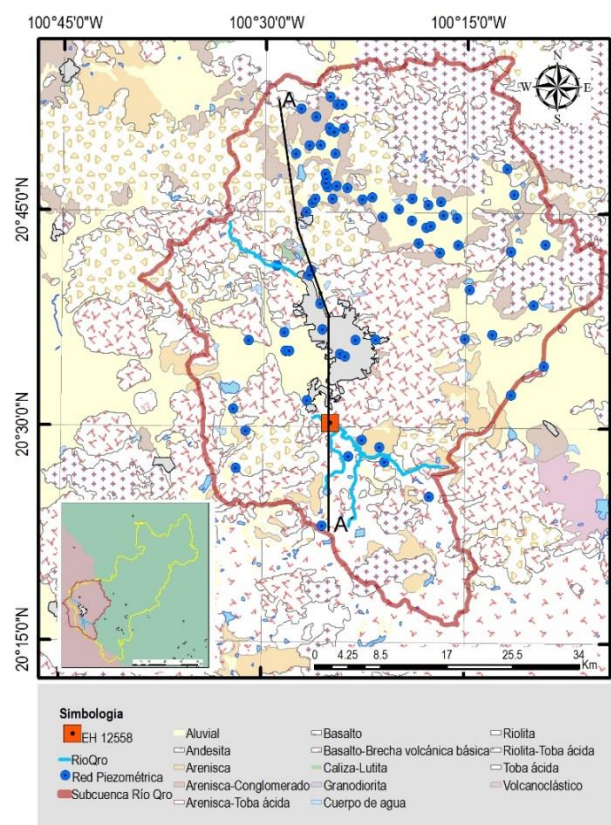


Figura 1. Localización de la subcuenca del río Querétaro. Se presentan las unidades litológicas, la red de monitoreo de agua subterránea (piezómetros) y la estación hidrométrica (EH-El Batán). Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2002) y CONAGUA (2014).

En el valle de Querétaro, el acuífero se comporta como confinado, es decir, existe una capa de arcilla en el subsuelo de la ciudad. A profundidad, el acuífero se divide en un sistema de fosas escalonadas, sepultadas por sedimentos aluviales, flujos de lava y depósitos vulcanoclásticos. Las partes más profundas del acuífero son de aproximadamente 600 m. El acuífero es heterogéneo y está integrado por variaciones litológicas importantes, que se presentan en sentido horizontal y vertical. En la década de 1970, empezó un incremento en la explotación del acuífero; cuando el nivel freático disminuyó, alcanzó las capas de baja conductividad hidráulica, el acuífero varió en algunas localidades de confinado a libre y se definieron dos sistemas de flujo subterráneo: local e intermedio (Herrera *et al.*, 2007). En la figura 2, se presenta un esquema simplificado de funcionamiento hidrogeológico orientado N-S (perfil A-A') y las elevaciones del nivel estático indican que, en promedio, se encuentran a 1800 msnm. La ciudad de Querétaro se encuentra en un valle, por lo que la zona norte y la zona sur se consideran zonas de recarga subterránea.

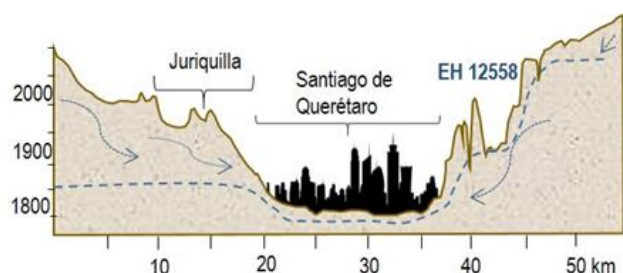


Figura 2. Sección A-A' simplificada de funcionamiento hidrogeológico de la subcuenca del río Querétaro. Fuente: elaboración propia con base en datos de elevaciones topográficas del INEGI (2000).

Metodología

Red de monitoreo de cuencas

En la subcuenca del río Querétaro, se localiza la estación hidrométrica 12558, con un registro histórico de 1962-2014 (BANDAS, 2014). Para el análisis de flujo base, se consideraron los datos registrados de caudal diario de la estación hidrométrica y se organizaron los caudales mensuales en años naturales durante el periodo analizado, con base en el procedimiento que se aplica en la NMX-159 (2012) para el cálculo de los

caudales ordinarios. Los datos de la estación hidrométrica reciben tanto aportaciones naturales como antrópicas, las cuales no se distinguen en este trabajo; por tanto, se calculó un escurrimiento medio anual de $18.9 \text{ Mm}^3/\text{año}$. En la figura 3, se presenta el hidrograma representativo de la estación hidrométrica.

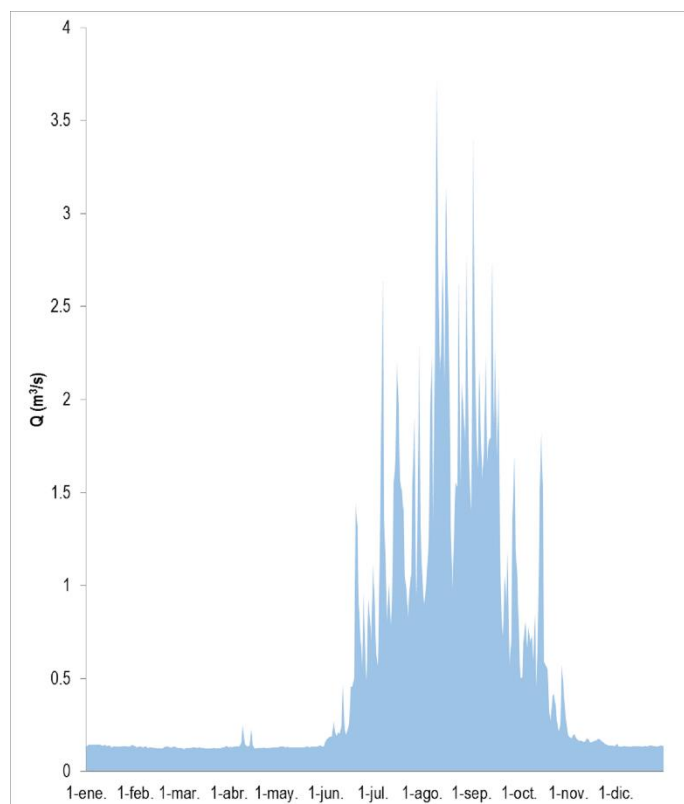


Figura 3. Hidrograma del río Querétaro. Fuente: elaboración propia con base en datos de CONAGUA (2014).

Red de monitoreo de acuíferos

Con base en la red piezométrica, se puede realizar una configuración de la elevación del nivel estático para identificar cualitativamente las direcciones preferenciales de flujo subterráneo. Bajo condiciones de poca precipitación, el flujo base de muchos ríos constituye la descarga para la mayor parte del año (condición efluente); asimismo, en un mapa de configuración del nivel estático, las líneas de flujo van en dirección al río (USGS, 2016). Para la configuración de la elevación del nivel estático, se consideraron 71 piezómetros de la red de monitoreo aplicando interpolación IDW (QGIS, 2018). En la figura 4, se presentan la elevación del nivel estático

y la elevación de los brocales de CONAGUA (2014), que realiza un monitoreo anual.

$$q_t = \alpha x q_{t-1} + \frac{(1+\alpha)x}{2}(Q_t - Q_{t-1})$$

Ecuación 1.

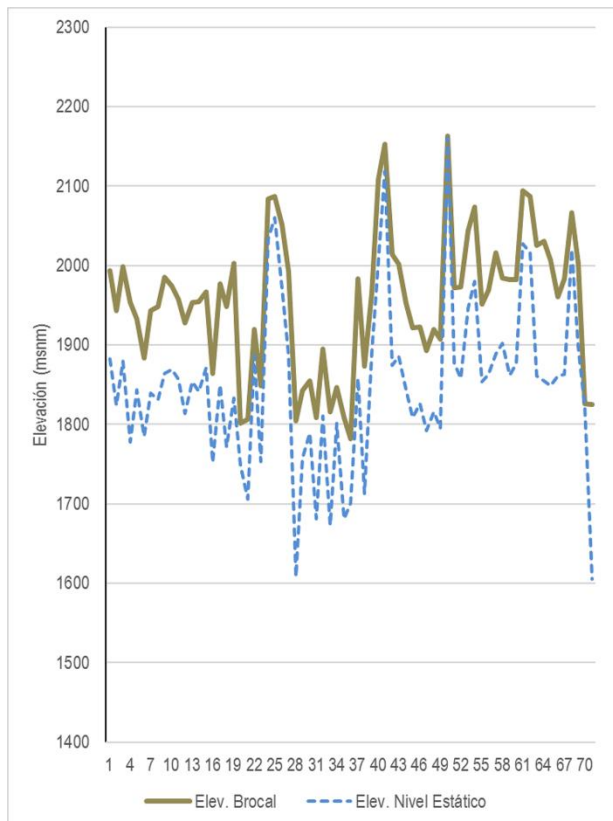


Figura 4. Red piezométrica. Fuente: elaboración propia con base en datos de CONAGUA (2014).

Determinación del caudal base

La cuantificación del flujo base es importante para el manejo sustentable de la interacción río-acuífero (Dwandel *et al.*, 2003). En las cuencas, el flujo base es un componente hidrológico importante para el entendimiento de los procesos de escurrimiento, por lo que los métodos de separación de flujo base han sido tópicos de investigaciones. Gonzales *et al.* (2009) realizan una comparación de los diferentes métodos de separación del flujo base en una cuenca baja empleando trazadores, aproximaciones gráficas y filtros digitales; de tal manera, identificaron que, con el filtro digital recursivo de Eckhardt (2005), se obtienen los mejores resultados en comparación con los trazadores. Lim *et al.* (2005) incorporan este filtro como una herramienta web para el análisis de hidrogramas, el cual se aplicó en este trabajo. La ecuación 1 muestra el filtro utilizado (Lim *et al.*, 2005):

En esta ecuación, q_t es el escurrimiento directo al tiempo t (m^3/s); q_{t-1} es el escurrimiento directo al paso de tiempo $t-1$, (m^3/s); α es un parámetro del filtro; Q_t es el escurrimiento total al tiempo t (m^3/s) y Q_{t-1} es el escurrimiento total al tiempo $t-1$ (m^3/s).

Resultados

Para la determinación del caudal base, se aplicó el filtro digital a la serie histórica de caudal de la estación hidrométrica (EH 12558) para los periodos 1962-1988 y 1989-2014. En la figura 5, se presenta el hidrograma de caudal promedio y el flujo base. Se observa que, durante los meses de enero a mayo y de noviembre a diciembre, tanto el escurrimiento como el flujo base alcanzan caudales de $0.1 m^3/s$ y corresponden a la época de secas. De junio a noviembre, hay un mayor escurrimiento y el caudal base también aumenta. En la tabla 1, se presenta el cálculo de caudal base mensual. De enero a mayo, se tienen caudales de $0.102 m^3/s$ para ambos periodos. De junio a agosto, existe una disminución promedio de $0.329 m^3/s$ de caudal base respecto del segundo periodo. En septiembre, se mantiene el valor de caudal base y, de octubre a diciembre, hay una disminución de $0.075 m^3/s$ para el segundo periodo. Para fines de gestión, los valores de caudales en m^3/s se convirtieron a $Mm^3/año$. Se calculó que, para el periodo 1962-1988, el caudal base es de $10.5 Mm^3/a$, así como de $7.1 Mm^3/a$ para el periodo 1989-2014.

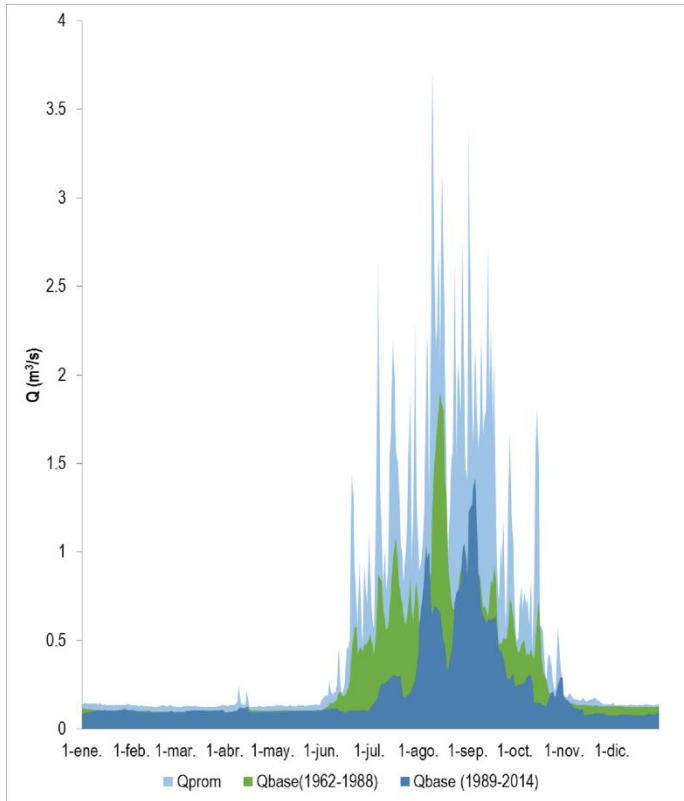


Figura 5. Separación del hidrograma para la determinación del caudal base para el periodo 1962-1988. Fuente: elaboración propia con base en datos de CONAGUA (2014).

	Qmensual	Qb(62-88)	Qb(89-14)
Enero	0.139	0.107	0.102
Febrero	0.130	0.100	0.098
Marzo	0.127	0.097	0.102
Abril	0.140	0.102	0.102
Mayo	0.132	0.104	0.102
Junio	0.482	0.283	0.106
Julio	1.301	0.714	0.232
Agosto	1.909	1.024	0.697
Septiembre	1.616	0.688	0.686
Octubre	0.626	0.367	0.217
Noviembre	0.165	0.135	0.105
Diciembre	0.136	0.126	0.081

Tabla 1. Determinación de caudal base para los periodos 1962-1988 y 1989-2014 (Q: caudal; Qb: caudal base; valores en m³/s). Fuente: elaboración propia con base en datos de CONAGUA (2014).

Los datos de la red piezométrica indican que existe un espesor no-saturado de 107 m en promedio, es decir, que el agua subterránea se extrae a esta profundidad. Se identificó un par de piezómetros (Escondida y P0233QR) que tienen una profundidad del nivel estático de 3 y 4 m, respectivamente, lo que indica que corresponden a agua subterránea de flujos locales. La configuración del nivel estático indica que las direcciones de flujo subterráneo van hacia el Valle de Querétaro, por lo que se infiere que es un río del tipo efluente, es decir, que el acuífero le aporta al río (figura 6).

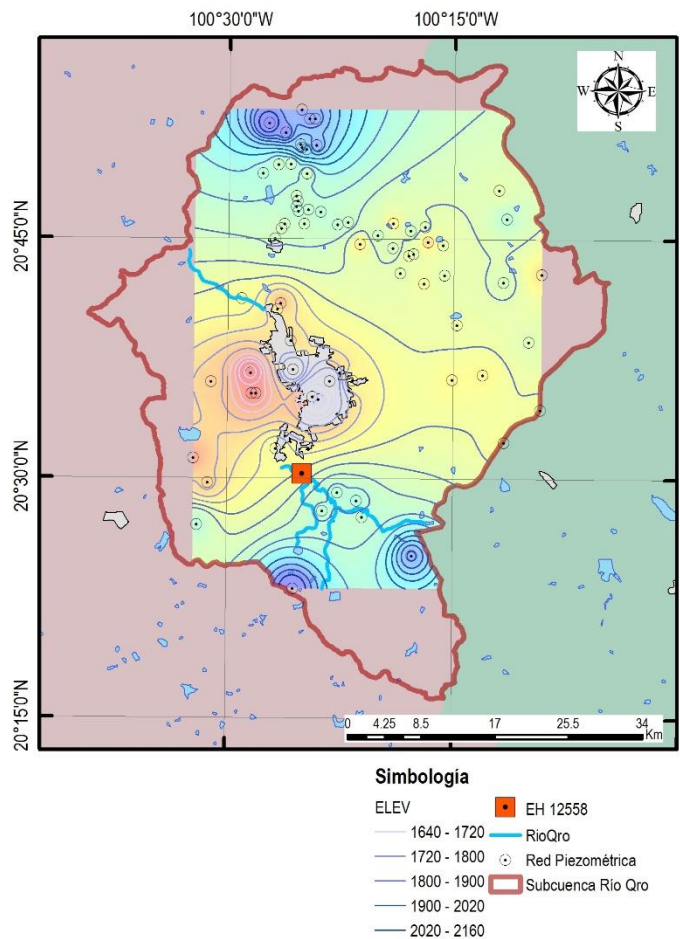


Figura 6. Configuración de la elevación del nivel estático (msnm) en la subcuenca del río Querétaro. Fuente: elaboración propia con base en datos de CONAGUA (2014).

Discusión

En este trabajo, se calculó que el caudal base aporta al río 10.5-7.1 Mm³/a, lo que indica que hay una tendencia hacia la disminución. El caudal base representa un régimen, por lo que, durante los meses de noviembre a mayo, el escurrimiento del río depende del caudal base del acuífero. En el periodo junio-octubre hay mayor escurrimiento, que puede estar influenciado por lluvias, canalizaciones del río y retornos de agua residual. También se deben considerar los caudales extraordinarios que pueden ocasionar inundaciones (González, 2018). La separación del caudal base de los ríos es un ejemplo de la interacción río-acuífero; sin embargo, los algoritmos de separación del hidrograma no pueden identificar entre las diferentes causas de fluctuaciones (Killian *et al.*, 2019). La zona urbana está sobre un valle y las zonas topográficamente altas que la rodean funcionan como zonas de recarga; asimismo, su dirección de flujo es hacia el valle y la profundidad del nivel estático se encuentra a 107 m de profundidad. La mayor parte del agua proviene de fuentes subterráneas, lo que incrementa la demanda sobre el acuífero, acelera su abatimiento y encarece la extracción.

Se estima que la población de la zona urbana de Querétaro estará constituida por 1,600,575 habitantes para el año 2030 (CONCYTEQ, 2011). Es recomendable que se sigan manteniendo las estaciones hidrométricas-piezométricas para obtener datos que puedan ser utilizados para conocer la dinámica estacional del río-acuífero.

Conclusiones

La interacción río-acuífero debe entenderse como un sistema complejo, por lo que las decisiones de manejo de uno pueden afectar al otro. El monitoreo diario de caudales del río, así como de niveles de agua subterránea, permitirá tener una variación temporal para la aplicación de técnicas hidrológicas-hidrogeológicas, como es la separación del caudal base. En este trabajo se calculó que el caudal base aporta al río 10.5 Mm³/a para el periodo 1962-1988, así como 7.1 Mm³/a para 1989-2014, y se identificó que el caudal base tiene una variación estacional; por ejemplo, en la época de secas (noviembre-mayo), el

escurrimiento del río es principalmente por el caudal base del acuífero. Actualmente se perfora en promedio 107 m para alcanzar el nivel estático del acuífero; una mayor extracción ocasionaría un incremento en el costo y abatimiento de niveles. Entender el funcionamiento de la interacción agua superficial-agua subterránea será la base para una mejor gestión del agua.

Referencias

- Aparicio M.F. (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. D.F., México: Limusa.
- Arnold J.G. y Allen P.M. (1999). Validation of automated methods for estimating baseflow and groundwater recharge from stream flow records. *Journal of American Water Resources Association*, 35(2), 411-424.
- BANDAS (2014). *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales*. México: CONAGUA. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Potada%20BANDAS.htm>
- CONAGUA (2014). *Red piezométrica*. México: CONAGUA. Recuperado de: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/red-piezometrica-mapas>
- CONAGUA (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Valle de Querétaro (2201). México: CONAGUA. Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5139682&fecha=19/04/2010
- CONCYTEQ (2011). *Diagnóstico Ambiental Integral de la Ciudad de San Juan del Río, Querétaro*. (Tomo XVII). Recuperado de: <http://www.concyteq.edu.mx/concyteq/uploads/publicacionArchivo/2017-06-992.pdf>
- Dewandel B., Lachassagne P., Bakalowicz M., Weng Ph. y Al-Malki. (2003). Evaluation of aquifer thickness by analyzing recession hydrographs. Application to the Oman Ophiolite Hard-Rock aquifer. *Journal of Hydrology*, 274, 248-269.
- DOF (2010). *Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Lerma 1,2,3,4,5,6,7; Río La Gavia, Río Jaltepec, Río La Laja 1,2; Río Querétaro, Laguna de Yuriria, Río Turbio, Río Angulo, Río Zula, Río Duero, Lago Pátzcuaro y Lago Cuitzeo, que forman parte de la subregión hidrológica denominada Lerma-Chapala*. México: DOF. Recuperado de: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5139682&fecha=19/04/2010
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for base flow separation. *Hydrol. Processes*, 19, 507-515.
- González S.E. (2018). Propensión de las inundaciones históricas de los últimos 100 años en Querétaro. *Revista Digital Ciencia UAQRO*, 11(1).
- Gonzales A.L., Nonner J., Heijkers J. y Uhlenbrook S. (2009). Comparison of different base flow separation methods in a lowland catchment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 2055-2068.

Herrera Z.G.S. y Simuta C.R. (2007). Modelo de flujo del agua subterránea y diseño de red de monitoreo para el acuífero del Valle de Querétaro. 2° Congreso Nacional de Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas. UMSNh-aSMMNI-CIMNE. Michoacán, México.

INEGI (2000). *Relieve continental*. México: INEGI. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/relieve/continental/default.html#Descargas>

INEGI (2002). *Geología*. México: INEGI. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/temas/geologia/default.html#Descargas>

Killian C.D., Asquith W.H., Barlow J.R.B, Bent G.C., Kress W.H., Barlow P.M. y Schmitz D.W. (2019). Characterizing groundwater and surface water interaction using hydrograph separation techniques and groundwater level data throughout the Mississippi Delta, USA. *Hydrogeology Journal*, 1-13.

Lim, Kyoung Jae, Bernard A. Engel, Zhenxu Tang, Joongdae Choi, Ki-Sung Kim, Suresh Muthukrishnan y Dibyajyoti Tripathy (2005). Automated web GIS based hydrograph analysis tool, WHAT. *Journal of the American Water Resources Association*, 41(6), 1407-1416. Recuperado de <https://engineering.purdue.edu/mapserve/WHAT/>, NMX-AA-159-SCFI-2012. Norma Mexicana que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas.

QGIS (2018). *Documentación de QGIS. Análisis Espacial (Interpolación)*. Licencia Creative Commons (CC BY-SA). Recuperado de: <https://qgis.org/es/site/>

Sophocleus (2002). Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10, 52-67.

Tóth J. (1999). Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*, 7, 1-14.

USGS (2016). Groundwater and surface water, a single resource circular. 1139 Denver, Colorado: USGS. Recuperado de <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/>

Vulnerabilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en la microcuenca Menchaca, Querétaro

Anthony Philippe André Michel¹ y Juan Alfredo Hernández Guerrero²

¹anthony.michel@gmail.com

²juan.hernandez@uaq.mx

¹y² Maestría en Gestión Integrada de Cuencas.

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.

Querétaro, México

Resumen

Las avenidas torrenciales son fenómenos hidrometeorológicos constituidos por un escurrimiento superficial de respuesta rápida que, según el caudal y la velocidad, determina el grado de afectación al sistema expuesto. En la dimensión social, los sistemas con mayores dificultades para anticiparse, responder o resistir son aquellos individuos o grupos en condiciones vulnerables. Al respecto, en la periferia de la ciudad de Querétaro, destaca la microcuenca Menchaca donde personas con evidentes desventajas socioeconómicas se asentaron en sitios susceptibles, sin tener conocimiento de ello, por lo que han sufrido daños y pérdidas materiales y humanas. El presente estudio tiene como objetivo identificar la vulnerabilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en una unidad de escurrimiento de la microcuenca Menchaca. Los métodos y herramientas utilizados consistieron en pláticas informales, encuestas, recorridos de campo y cartografía. Entre los hallazgos, la precipitación y la pendiente son condicionantes de avenidas torrenciales; pero esos fenómenos están supeditados por las modificaciones del lugar, las condiciones de los habitantes y por la limitada y permisible intervención de las autoridades.

Palabras clave: vulnerabilidad, riesgo, avenidas torrenciales, microcuenca, unidad de escurrimiento.

Abstract

Torrential floods are hydrometeorological phenomena constituted by a rapid response surface runoff that, according to the flow and speed, determines the degree of affectation to the exposed system. In the social dimension, the systems with the greatest difficulties in anticipating, responding or resisting are those individuals or groups of vulnerable conditions. In this regard, In this regard, in the periphery of the city of Querétaro, the Menchaca microwatershed stands out, where people with obvious socioeconomic disadvantages settled on susceptible sites, without having knowledge of it, for what have been the damages and the material and human losses. The aim of this study is to identify the vulnerability to the occurrence of torrential floods in a runoff unit of the Menchaca microwatershed. The methods and tools used were informal talks, surveys, field trips and cartography. Among the findings, precipitation and slope are conditions of torrential avenues; but these phenomena are subject to changes in the place, the conditions of the inhabitants and the limited and permissible intervention of the authorities.

Keywords: Vulnerability, Risk, Torrential avenues, Microwatershed, Runoff unit.

Artículo arbitrado

Recibido:

10 de abril de 2019

aceptado:

16 de julio de 2019

Introducción

En ciudades con un acelerado crecimiento poblacional, el riesgo parece tener cada vez más aristas; especialmente, hacia las periferias urbanas debido a su propia dinámica: rápido cambio de uso de suelo, déficit de servicios urbanos, escasa vigilancia y clandestinidad (Vieyra, Méndez-Lemus y Hernández-Guerrero, 2016; Hagenlocher, Renaud, Hass y Sebesvari, 2018). Las cuencas hidrográficas, en esos sectores, presentan afectaciones cuasiirreversibles, al tiempo que la respuesta y mitigación disminuye, pero la vulnerabilidad aumenta (Peña, 2018).

Las avenidas torrenciales se encuentran entre las amenazas que continuamente impactan y condicionan la vulnerabilidad de los habitantes en cuencas periurbanas, a la vez que las características del lugar determinan el caudal, velocidad y afectaciones e intervienen en la respuesta (Pastorello, Hürlimann y D'Agostino, 2018; Vásquez, Gómez y Martínez, 2018). La periferia urbana de la ciudad de Querétaro ejemplifica el problema planteado a través de la microcuenca Menchaca, específicamente la unidad de escurrimiento “cañada Menchaca” (Figura 1). La unidad se localiza sobre una falla geológica con pendiente promedio de 20% y, por efecto, se acelera la velocidad de un cauce efímero que se forma en el temporal de lluvias (mayo a octubre con valores anuales entre 500 mm y 600 mm).

En esa unidad, destacan los asentamientos irregulares de las colonias Diana Laura I y Diana Laura II. Ambos se establecieron a principios de la década del 2000 sobre un escurrimiento con pendiente del 26%. El proceso de urbanización requirió el reemplazo de la cubierta vegetal, lo que dejó taludes no contenidos e inestables; mientras que las calles se construyeron en sentido de la pendiente. Lo anterior resultó en el aumento de la formación e impacto de las avenidas torrenciales.

Los habitantes, al carecer de tenencia segura del suelo, son excluidos de los planes de desarrollo urbano y no son beneficiados con infraestructura para atender el problema, al tiempo que se continúa con afectaciones en las actividades cotidianas, integridad física y patrimonio. A partir de lo señalado, ¿qué elementos condicionan la vulnerabilidad en la unidad de escurrimiento? y ¿cuáles son las estrategias para disminuir la vulnerabilidad? El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad de la unidad de escurrimiento “cañada Menchaca” en la periferia de la ciudad de Querétaro. La información obtenida es importante para evaluar la ocupación de sitios susceptibles y las consecuencias físicas y sociales por alterar la funcionalidad de una cuenca.

Métodos y herramientas

Con el fin de responder al objetivo, se llevaron a cabo dos etapas. La primera se refiere a la determinación del peligro; para ello se utilizaron datos de precipitación mensual y máxima en 24h de la estación Querétaro para los años de 1983-2013, cuya información fue obtenida del IMTA y SEMARNAT (2013). Después, se determinaron los parámetros morfométricos de la microcuenca y unidad de escurrimiento establecidos por Valdés y Hernández (2018) para comprender la formación de avenidas torrenciales.

La segunda etapa consiste en la determinación de la vulnerabilidad. Se aplicaron pláticas informales, encuestas, recorridos de campo y cartografía. Así, se realizaron siete pláticas informales con los habitantes de la unidad de escurrimiento, al mismo tiempo se llevaron a cabo cinco recorridos exploratorios guiados por la representante vecinal. El resultado de

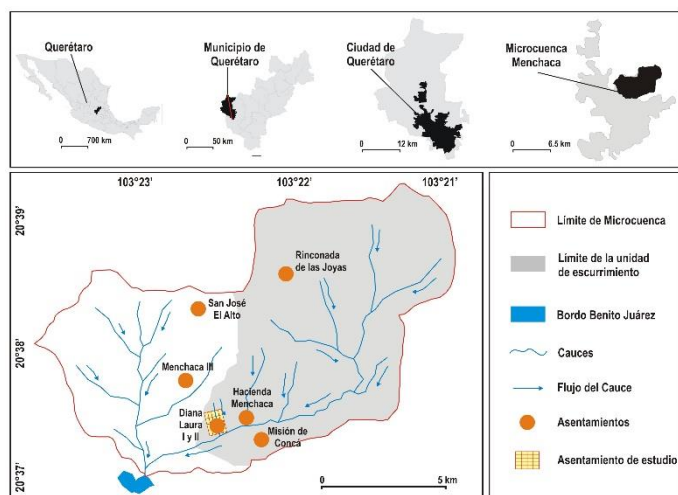


Figura 1. Zona de estudio. Fuente: datos del INEGI (2010).

ese primer ejercicio permitió la redacción del cuestionario piloto, donde dicho instrumento estuvo integrado por 20 preguntas de opción múltiple dividido en cuatro apartados: información general, vulnerabilidad física, vulnerabilidad social y acciones socioorganizativas. Las encuestas piloto se aplicaron a nueve personas. Posterior a ello, solo se eliminaron dos preguntas, por lo que se culminó con una encuesta estructurada de 18 preguntas. De las 110 viviendas que constituyen los asentamientos, la encuesta se aplicó en 60 viviendas con los responsables de la jefatura del hogar. El ejercicio fue dirigido mediante una cita con el encuestado.

Los argumentos señalados en la encuesta fueron corroborados con 15 recorridos de campo donde se levantó un compendio fotográfico, se georreferenciaron los lugares afectados y se elaboró cartografía con los recorridos guiados. En esta última, se establecieron los instrumentos y actores que influyen en la condición de vulnerabilidad y riesgo.

Resultados

En el periodo de 1980 a 2013, los eventos de lluvia mensual presentaron relativa homogeneidad (Figura 2). Existen algunas fluctuaciones, pero el promedio se encuentra en un rango de 60mm. El periodo con mayores precipitaciones fue de junio a septiembre. La precipitación máxima en 24 horas alcanzó cifras de 125mm (septiembre 2003) u 80 mm (agosto 2002), pero el promedio fue de 50mm. Los valores de precipitación son indicativos en la formación de avenidas torrenciales, pero no la principal causa.

Por su parte, los escurrimientos intensos se forman posterior a una zona de transición altitudinal (Figura 3). La unidad de escurrimiento presenta los siguientes parámetros: morfométricos, pendiente inclinada (15%), forma ovalada (índice de Gravelius 1.27), moderada cantidad de cauces (orden 2), óptima área de drenaje (17 km²) y tiempo de concentración con respuesta contenida (1h55min). No obstante, donde se localiza los asentamientos de las colonias Diana Laura I y II, los parámetros cambian drásticamente: la pendiente es muy inclinada (26% promedio), tiene forma ovalada (índice de Gravelius 1.6), cauce de primer orden, pequeña área de drenaje (0.29 km²) y tiempo de

concentración rápido (0h33min). Todos esos parámetros influyen en la formación de escurrimientos de respuesta rápida con erosión intensa que favorece la carga de sedimentos.

El 53% de las personas encuestadas menciona que los eventos con mayor peligrosidad se asocian con tormentas por la noche; el 75% señaló que esos eventos rápidamente forman escurrimientos, y el 63% indicó que suelen combinarse con el arrastre de sedimentos (Figura 4). El 90% dijo sentir peligro cuando ocurre una tormenta y el 80% argumentó que la pavimentación de las calles contribuiría en la salida del agua y en disminuir el sedimento.

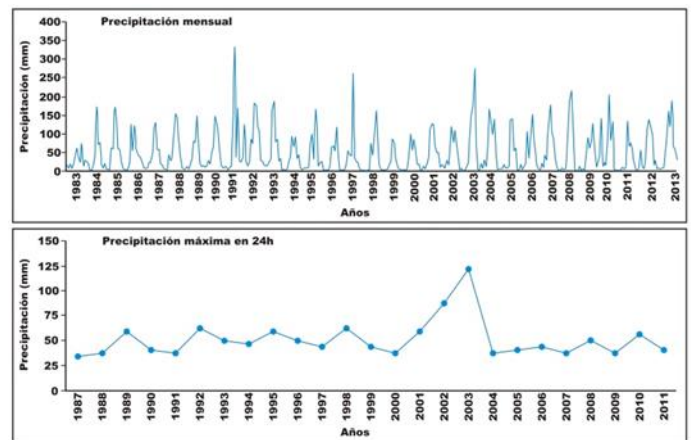


Figura 2. Precipitación mensual y máxima en 24h, estación Querétaro, 1983-2013. Fuente: datos del IMTA y SEMARNAT (2013).

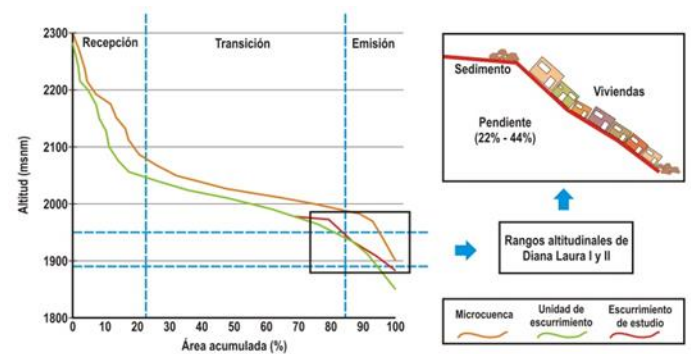


Figura 3. Establecimiento de los asentamientos en las unidades de escurrimiento. Fuente: información de recorridos de campo.



Figura 4. Condiciones físicas y tipo de sedimento en la colonia Diana Laura I. Fuente: recorridos de campo.

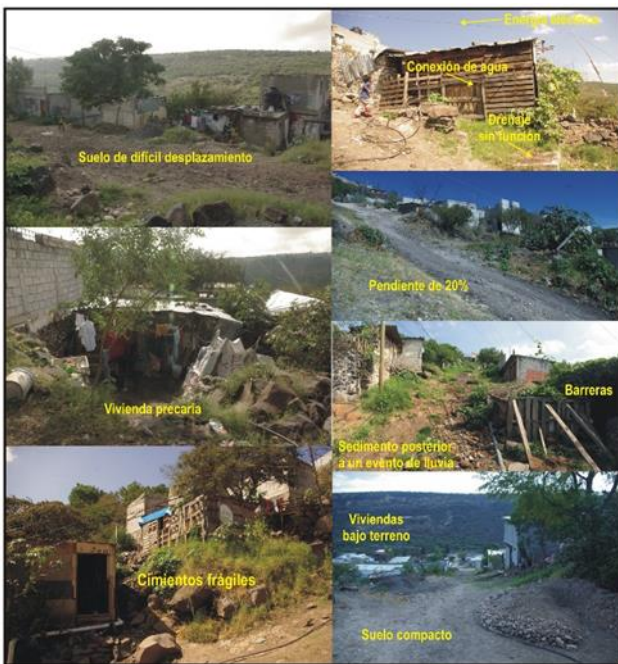


Figura 5. Condiciones de las viviendas y del lugar. Fuente: recorridos en campo.

Las viviendas presentan diferentes materiales de construcción en paredes (54% tabique, 37% madera y plástico y 9% lámina de metal), techos (43% lámina de metal, 30% concreto, 27 lámina de asbesto) y pisos (80% de concreto y 20% de tierra). La mayoría de las viviendas cuentan con servicios (agua 98%, luz 98% y drenaje 80%), aunque destaca su precariedad: el

agua es suministrada con ductos de plástico, la energía eléctrica es abastecida de forma clandestina de otros asentamientos y el drenaje es limitado y con salidas hacia el cauce principal (Figura 5).

Por otro lado, el 75% de los encuestados mencionó que por lo menos una vez ha tenido algún percance por las condiciones del lugar antes, durante o después de una tormenta. Entre los perjuicios destacan las caídas (60%), impactos por material (34%), daños a la vivienda (51%) y enfermedades (23%). Al ser afectados, el 91% de los habitantes les lleva ± 4 días regresar a sus actividades, aunque un 9% no ha regresado a una situación estable. Así, los daños a la vivienda, las afectaciones a las actividades diarias y los perjuicios a la salud aumentan la vulnerabilidad (Figura 6).

El 71% de las encuestas fueron contestadas por mujeres: el 29% viven solas, o bien, el esposo o pareja no están siempre en el hogar. Al respecto, el 39% de las viviendas tiene entre 3 y 4 dependientes, y el 61%, entre 1 y 2. La cantidad de adultos y niños es de 2.8 personas. Además, se presenta hacinamiento alto, representado por 4.7 personas por vivienda.

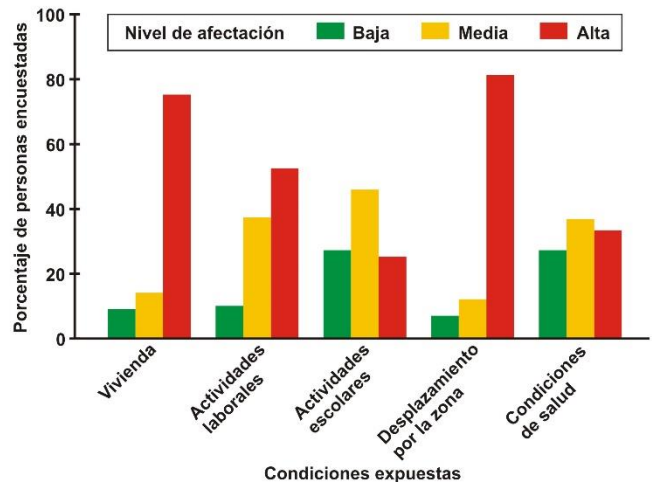


Figura 6. Nivel de afectación en vivienda, actividades y salud. Fuente: encuestas aplicadas en los asentamientos.

El principal ingreso económico es a través del padre (43%), seguido de la madre (19%) y por último los hijos (13%). El 15% de los encuestados tienen un ingreso mensual promedio de \$2,500, el 54% se encuentran entre \$2,500 y \$5,000 y un 15% tienen entre \$5,000 y \$10,000. Sin embargo, el 90% de los

encuestados no logran ahorrar. El déficit económico por avenidas torrenciales ha sido de \$1,000 en el 70% de los encuestados, aunque también se presentó un 8% entre \$2,000 y \$5,000. La principal opción para cubrirlo es a través de recursos propios (59%) y préstamos (30%). Por último, a pesar de que el 64% cuentan con seguro popular y el 34% son derechohabiente del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), es notoria la carencia económica para realizar gastos en servicios de salud de emergencia o medicamentos.

El 100% de los encuestados señalaron que el principal apoyo son los vecinos y familiares (Figura 7), ya que su rápida atención y organización favorece en una mejor respuesta durante y después del evento; además, previo a ello, se realizan estrategias de mitigación, aunque suelen ser frágiles. Además, el 65% de los encuestados señalaron que durante los eventos se suele tener apoyo de protección civil, bomberos y seguridad pública, pero después y antes es casi nula. El 55% mencionó que la organización Un Techo les ha beneficiado en mejorar su vivienda, pero no asiste durante un evento perjudicial, y la Comunidad Cristiana brinda provisiones de recursos después de lo ocurrido. Sin embargo, en ambos casos, la asistencia es mínima en comparación con familiares y vecinos. Finalmente, el 90% de los encuestados señalaron que el municipio no suele apoyarlos y solo atiende cuando el evento demanda la atención de los medios de comunicación.

De forma general, la vulnerabilidad frente al riesgo por avenidas torrenciales en la unidad de escurrimiento presenta un nivel medio (Figura 8); esto quiere decir que en cada temporal de lluvias el 75% de las viviendas son afectadas por lo menos una vez, especialmente por el impacto del sedimento; a la vez que el 80% de la población no tiene los recursos económicos suficientes para responder de forma adecuada. Por otro lado, la distribución de los habitantes con mayor vulnerabilidad se presenta en la zona alta y media, las que son representadas con el impacto del sedimento de mayor volumen.

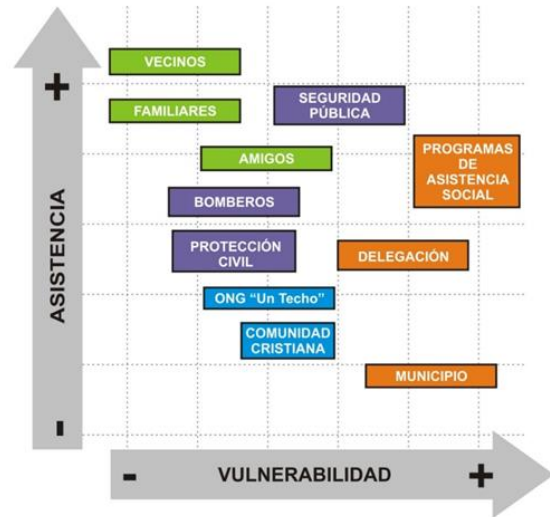


Figura 7. Instrumentos y actores asociados el fenómeno de vulnerabilidad.



Figura 8. Nivel de vulnerabilidad en los asentamientos de las colonias Diana Laura I y II. Fuente: encuestas realizadas en los asentamientos.

Discusión

Las características físicas del lugar y la precipitación son condicionantes que favorecen la formación de avenidas torrenciales, pero existen otras variables que acentúan el riesgo, sea la nula planeación de ocupación, infraestructura deficiente y bajos recursos económicos. Esos argumentos, ratifican lo señalado por Peña (2018), quien además menciona que la vulnerabilidad limita las oportunidades de mitigar y responder. Además, la recurrencia de los eventos, las pérdidas y daños con poca respuesta contribuyen que la vulnerabilidad sea crónica.

los sedimentos; esa opción estará acompañada de lugares de descanso y mejoras al desplazamiento (Figura 9, A1-A2). La segunda propuesta es la construcción de terrazas para reducir la velocidad de la avenida y sean acompañadas de áreas verdes o pequeños huertos para mitigar el escurrimiento (Figura 9, B1-B2). La tercera propuesta es la combinación de barreras y terrazas para mitigar el escurrimiento y los impactos del sedimento (Figura 10, C1-C2). Además, con esas intervenciones, el agua podrá direccionarse a canales contiguos a la banqueta y la cobertura del suelo (adoquín y empedrado) permitirá la infiltración del agua.

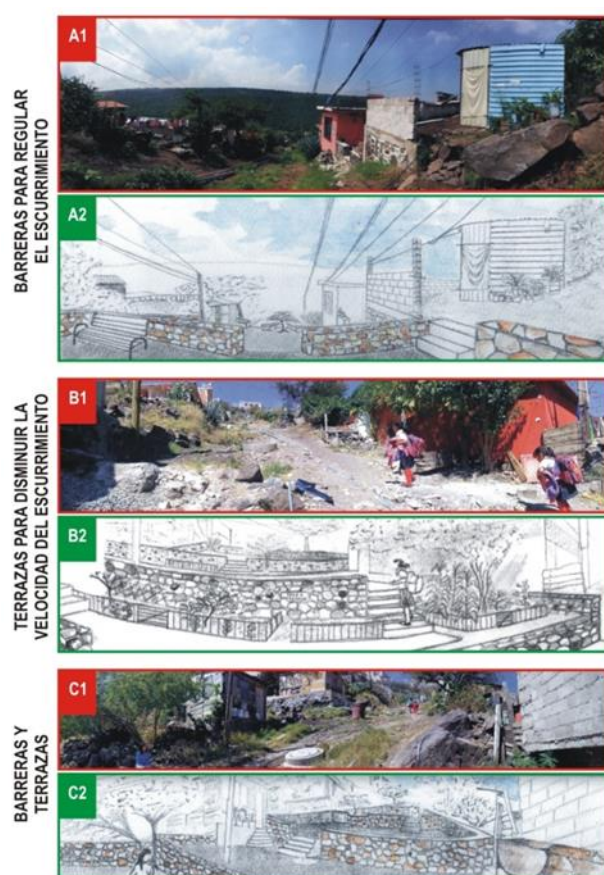


Figura 9. Propuestas para reducir el impacto de avenidas torrenciales.

Ante las evidentes limitaciones de los habitantes, la inoperatividad de las autoridades y las recurrentes y peligrosas avenidas torrenciales, se propone tres intervenciones para reducir el impacto que ayuden, dentro de todo, a mejorar la vulnerabilidad. La primera establece la construcción de barreras de contención, tanto para reducir el escurrimiento como

Conclusiones

La vulnerabilidad física está supeditada por la vulnerabilidad social, pues las modificaciones y reconfiguración del lugar no solo propician la recurrencia de los eventos, sino que aumentan la intensidad del impacto. Si bien la población tiene cierto arraigo al lugar y las autoridades son permisivas con la ocupación, entonces la mitigación del riesgo en la unidad de escurrimiento “cañada Menchaca” debe ser intervenida con estrategias tanto estructurales como no estructurales. En cuanto a las primeras, se puede introducir infraestructura que aminore la velocidad e impacto del escurrimiento, ya sea el caso de terrazas que se acompañen de áreas verdes o pequeños jardines, así como canales subterráneos limítrofes con las banquetas. Para las segundas, será importante mejorar la organización de la población con talleres de prevención y respuesta, incluir la participación de los habitantes en la toma de decisiones y fortalecer el tejido social mediante apoyos institucionales. Debido a que el riesgo es un fenómeno multicausal, multiescala y multivariable, es necesario que se introduzca alternativas transversales que mejoren las oportunidades de empleo, educación y salud.

Agradecimientos

Se agradece a la maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro por las facilidades brindadas con equipo e infraestructura para la realización del trabajo. Asimismo, el apoyo recibido a través del proyecto FOFI-UAQ Diferenciación socio-residencial y escenarios de riesgo en el paisaje de la periferia urbana de Querétaro, México: caso de las localidades urbanas de Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui.

Referencias

Hagenlocher, M., Renaud, F., Hass, S. y Sebesvari, Z. (2018). Vulnerability and risk of deltaic social-ecological systems exposed to multiple hazards. *Science of the Total Environment*, pp. 631-632.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). *Extractor rápido de información climatológica ERIC III*. Información digital.

Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). (2010). *Cartografía urbana*. Información digital. Aguascalientes, México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/servicios/>

Pastorello, R., Hürlimann, M. D'Agostino, V. (2018). Correlation between the rainfall, sediment recharge, and triggering of torrential flows in the Rebaixader catchment (Pyrenees, Spain). *Landslides*, 15, pp. 1921-1934.

Peña, D. (2018). *Estrategia de manejo para la mitigación del riesgo por inundaciones en la microcuenca San José El Alto, Querétaro*. (Tesis de maestría). Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro, México.

Váldez-Carrera, A. y Hernández-Guerrero, J. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 60, pp. 189-229.

Vásquez, J., Gómez, V. y Martínez, H. (2018). La avenida torrencial de Mocoa, Putumayo ¿ejemplo de una retrospectiva sin punto final en la gestión del riesgo de desastres detonados por eventos naturales? *Revista de Derecho, Universidad del Norte*, 50, pp. 203-228.

Vieyra, A., Méndez-Lemus, Y. y Hernández-Guerrero, J. (Coords.). (2016). *Procesos urbanos, pobreza y ambiente. Implicaciones en ciudades medias y megaciudades*. Morelia: CIGA-UNAM.

Agua y poder: el control del agua subterránea en Amazcala

Julio César Sánchez Angulo, Gonzalo Hatch Kuri y Hugo Luna Soria

¹julio.angulo08@gmail.com; ²respaldoghk@gmail.com; ³hugoluna@uaq.mx

Facultad de Ciencias Naturales, Maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro.
México

Resumen

La gestión del agua subterránea en las zonas rurales de México se caracteriza por la falta de regulación de los volúmenes de su extracción y de un orden en los títulos de concesión, los cuales muchas veces se concentran en pocos usuarios; en consecuencia, se encuentran casos de posesión de más de un título de concesión bajo el régimen de personas físicas y sociedades de producción. Lo anterior plantea la duda de si en algún momento está en riesgo la seguridad hídrica de la población, así como nuestro derecho humano al agua, consagrado en el artículo 4° de la Constitución Mexicana. En este sentido, en el presente trabajo se identifican y analizan, desde un enfoque interdisciplinario, los elementos que han incidido en la concentración político-geográfica del agua subterránea en el Valle de Amazcala, situación que abona al crecimiento de la mancha urbana de la ciudad de Querétaro y provoca efectos evidentes como el cambio de uso de suelo, de agrícola ejidal a industrial y residencial.

Palabras clave: acuífero, agua subterránea, cuenca, poder

Abstract

The management of groundwater in rural areas of Mexico is characterized by the lack extraction volume regulation, and of an under control in the concession titles, which often are concentrated in a few users in possession of more than one concession title, under the regime of natural persons and production companies. The foregoing lead us to wonder if, at any time, the water security of the population is at risk, as well as our human right to water, which is enshrined in article 4 of the Mexican Constitution. In this order, this investigation identifies and analyzes, from an interdisciplinary perspective, the elements that have influenced the political-geographical concentration of the groundwater in the Amazcala Valley, in relation to the urban sprawl of Queretaro city, causing obvious effects such as the land use change, from agricultural ejidal to industrial and residential lands.

Keywords: aquifer, underground water, basin, power

Artículo arbitrado

Recibido:
10 de abril de 2019

aceptado:
13 de agosto de 2019

Introducción

Al menos en México, los límites políticos de los municipios y estados no coinciden con los límites de las cuencas hidrográficas, pero tampoco con los de los acuíferos; estos últimos, conceptualizados como límites administrativos en el artículo 3° de la Ley de Aguas Nacionales, impiden una visualización tridimensional de los límites geológicos del acuífero y, en consecuencia, de los sistemas de flujo de agua subterránea que circulan por las porosidades de la roca. Asimismo, no existe claridad sobre el criterio que rige la delimitación geográfica de estos acuíferos administrativos, lo que en consecuencia se traduce en conflictos (Carrillo *et al.*, 2011).

En torno a estos acuíferos administrativos, cohabitan e intervienen diversos grupos y clases sociales; en la relación de estos con el proceso de dotación y adquisición de derechos sobre el agua subterránea, subyace el conflicto y la inequidad en su acceso.

Una de las problemáticas alrededor de la gestión del agua subterránea es que los actuales esquemas que rigen su dotación han favorecido una política clientelar y de concentración de títulos de concesión en pocas manos; pero no sólo eso, tampoco se han implementado los mecanismos necesarios para determinar si el volumen permitido de extracción es rebasado. De esta manera, el agua subterránea, al permanecer oculta, puede rápidamente concentrarse en poder de actores privilegiados que, con cierta discrecionalidad, extraen irracionalmente más agua a diferentes profundidades.

El poder, en esta contribución, se entiende como todas aquellas relaciones sociales determinadas por intereses particulares e imbricados en los grupos de élite que buscan asegurar acceso, uso y apropiación del agua (Porto-Gonçalves, 2006).

Autores, como Wester *et al.* (2011), concluyen que solo los actores con mayor poder económico lograrán, en el tiempo, seguir bombeando el agua subterránea y extraerla así de mayores profundidades, lo cual los diferenciará de aquellos

otros ejidatarios o agricultores que no podrán costear el abatimiento de sus pozos.

En este contexto, los conflictos alrededor del agua subterránea pueden manifestarse en escalada, por ser la única reserva de agua dulce del mundo *físicamente accesible* (97%), mientras que el 3% corresponde a aguas superficiales (Jones, 1997; Hoogesteger *et al.*, 2018). En México, del total de metros cúbicos concesionados para el uso de agua superficial y subterránea, el 38.9% proviene de los 653 acuíferos administrativos (SEMARNAT, 2011); estos flujos de agua subterráneos suministran hasta el 70% de agua a las ciudades mexicanas y benefician a alrededor de 75 millones de personas (Schmidt y Hatch, 2012).

En Querétaro, el escenario de gestión y uso del agua subterránea no es tan alentador. Se estima que, de sus 12 acuíferos, 6 están sobreexplotados (DOF, 2018). La Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Querétaro (SEDEA) estima que “la superficie agrícola regada en el estado con agua subterránea asciende a 49 mil hectáreas, en comparación de las 18 mil regadas con agua superficial” (Dobler, comunicación personal, 2019). A nivel estatal, el volumen total de extracción de agua subterránea concesionada equivale a 688 millones de metros cúbicos anuales; de ellos, el 54% está concesionado a actividades agropecuarias y agroindustriales; 22.3%, para uso doméstico; 15.7%, para usos múltiples, y el 8% restante, para uso industrial y de servicios (CONAGUA, 2019).

Si en estos acuíferos el flujo del agua circula sin reconocer los límites municipales y estatales, pero además se estima que más de la mitad están sobreexplotados, ¿cómo es que algunos actores pueden seguir extrayendo agua, acumular concesiones o ampliar su nivel de perforación para extraerla? ¿Qué se debe hacer para contrarrestar la sobreexplotación? ¿Es la sobreexplotación un artificio técnico para controlar el destino y la dotación del agua subterránea en beneficio de algunos usuarios?

En este sentido, la exploración y el aprovechamiento intensivo de las aguas subterráneas, por medio de la

conexión de la bomba eléctrica, ha incrementado su vulnerabilidad, al punto de modificar el funcionamiento sistémico del agua subterránea. Lo anterior se ha utilizado como un argumento para que el Estado imponga vedas, zonas reglamentadas y zonas de reserva, con la intención de proteger los acuíferos (Aboites, 1998; citado en Rolland y Cárdenas, 2010). No obstante, parece que esto ha favorecido la concentración en manos de usuarios con mayor poder político y económico; tal es el caso del acuífero del Valle de Amazcala.

Este acuífero tiene una recarga media anual de 34.0 millones de metros cúbicos. A razón del uso intensivo de su agua subterránea, la cual está concesionada principalmente para actividades agropecuarias, industriales, de extracción pétreo y muy poca para actividades domésticas, se extrae más agua de la que se recarga anualmente, es decir, 54.32 millones m³/año; esto se traduce en un déficit de 23.12 millones m³/año. Por lo tanto, el acuífero se encuentra en condiciones de sobreexplotación (DOF, 2018).

A pesar de lo señalado, los datos del Registro Público de los Derechos del Agua (REPGA), de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), indican que existen diversos usuarios que poseen más de un título de concesión de agua subterránea, con un volumen permitido mucho mayor al que está concesionado para las actividades ejidales y domésticas. Con base en lo señalado, surgen varias interrogantes: ¿Qué otros elementos de investigación se deben considerar para comprender por qué una gran parte de la recarga media anual que presenta el acuífero del Valle de Amazcala está concentrada en manos de unos cuantos usuarios? ¿Cómo lograr una gestión mucho más democrática del acuífero del Valle de Amazcala?

Materiales y métodos

Zona de estudio

El acuífero del Valle de Amazcala abarca dos estados: Querétaro (Qro.) y Guanajuato (Gto.). Su mayor extensión se encuentra en el municipio de El Marqués (Qro.). Este acuífero se conecta con la

cuenca del río Chichimequillas (véase figura 1), en la que existen zonas de recarga como el cerro El Zamorano, que abarca dos municipios de Querétaro y dos de Guanajuato. Asimismo, otra zona de recarga se localiza en el cerro La Caldera, compartida por los ejidos de Amazcala, La Griega y El Lobo, (Qro.); dicha zona forma parte de la franja volcánica transmexicana (Hernández, 2014). Los tributarios de esta cuenca se concentran hidrográficamente en 10 microcuencas, las cuales fueron delimitadas y caracterizadas en 2007 por el Fidecomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).



Figura 1. Cuenca del río Chichimequillas. Fuente: elaboración propia con base en datos vectoriales de CONAGUA (2018).

Análisis de la información

Se realizó un análisis de la base de datos del REPGA (2018); a partir de dicho análisis, se obtuvo una clasificación de los usos del agua subterránea del acuífero del Valle de Amazcala por tipo de usuario, cantidad de concesiones y volumen de agua concesionado. Los registros se ingresaron en el software Qgis 2.18 para obtener su ubicación espacial y un archivo tipo vectorial, el cual se anexó a una cartografía elaborada de la cuenca del río Chichimequillas que concentra, por lo menos, el 90% de los pozos de agua subterránea de ese acuífero.

Se aplicaron entrevistas a profundidad y semi-estructuradas, desde un enfoque cualitativo, a ejidatarios de la tercera edad que han experimentado,

a través de un proceso histórico, la configuración de la gestión y el uso del agua, en escenarios de intervención y de intercambio con otros usuarios. Gracias a la perspectiva interdisciplinaria (antropología y geografía), se revela la dimensión espacial del control político del agua subterránea en el Valle de Amazcala.

Resultados

En 1952, se instaló una compañía minera registrada, en la actualidad, a nombre de Extracciones Basálticas, S.A de C.V., que alteró el funcionamiento sistémico del acuífero del Valle de Amazcala, específicamente en la zona de recarga hídrica La Caldera. Esto provocó el desecamiento de los principales manantiales de Amazcala, lo que generó conflictos ejidales por el cambio de uso de suelo que implicó.

El primer aprovechamiento de agua subterránea en el Valle de Amazcala estuvo relacionado con el desecamiento de los manantiales; por lo tanto, los ejidatarios, para explorar el agua del subsuelo, hicieron uso de varas o radiestesia, una técnica cultural para encontrar yacimientos de agua por medio de vibraciones electromagnéticas.

Los productores se apoyaron de las familias de élite que promovían la irrigación junto con el gobierno estatal y federal en 1952, para que, por medio de un financiamiento crediticio, accedieran a la compra de tecnología hidráulica para, así, conseguir los permisos correspondientes para extraer el agua. Esto permitió entubar el primer pozo sobre el acuífero y fomentar la primera sociedad de productores de riego de la zona (véase figura 2).

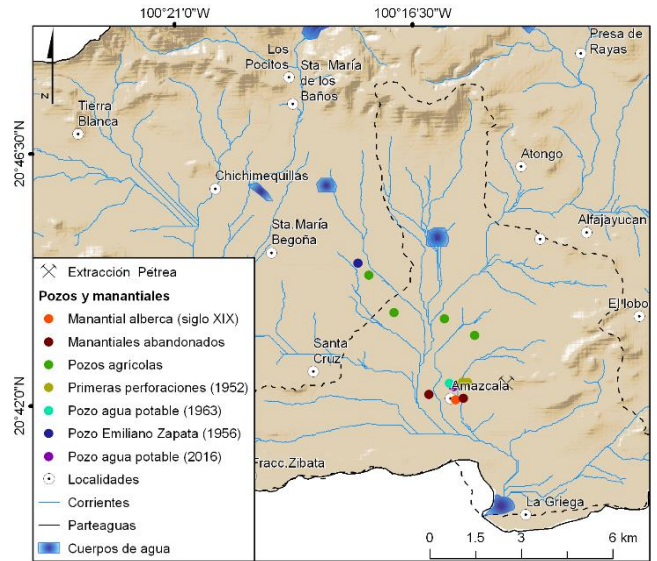


Figura 2. Historia del uso del agua subterránea en el acuífero del Valle de Amazcala. Fuente: elaboración propia.

Cabe señalar que el afán de asociar a los productores tenía un objetivo gremial: abastecer con alfalfa y otras cosechas agrícolas a los principales ranchos de las familias de élite dedicadas a la producción de ganado lechero. Así, en el periodo de 1952 a 1960, los ejidatarios de la zona se ajustaron al Plan Nacional de Irrigación, promovido por la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), el estado y los ganaderos de élite queretana; lo anterior, a costa de recuperar las inversiones realizadas por los problemas sanitarios de la fiebre aftosa de los años 50, que afectó gran parte de la economía gremial (Miranda, 2005).

Las familias queretanas, como los Roiz, Amieva Alcocer, Guas, Moreno, Rentería, Sainz, Arguimbau y Vega, entre otros agro-empresarios, actualmente concentran un mayor número de concesiones de agua subterránea para uso agroindustrial, agropecuario y para diferentes usos, bajo el régimen de personas físicas y morales. El volumen concesionado para este gremio agro-empresarial es de 30.4 millones de metros cúbicos anuales, a diferencia del volumen de agua concesionado para los productores de los distintos ejidos del Valle, que tienen permitido extraer hasta 14.8 millones de metros cúbicos anuales, y del volumen destinado para el uso doméstico de la población (véase tabla 1).

Régimen	Núm. de concesiones	Volumen concesionado (m ³ /año)	Sin registro de m ³ /año	% Acumulación de la recarga hídrica anual
Personas físicas (privado)	90	27,553,221.00		81.0
Personas morales (privado)	16	2,880,582.00		8.5
Sociedad de productores/ejidatarios	43	14,849,146.00		43.7
Comité local del agua	3	387,583.00		1.1
Universidades	1	600,000.00		1.8
SAGARPA	4	438,840.00		1.3
CEA	19	905,000.00	16	2.7
Ayuntamiento	3	800,000.00	2	2.4
Estado	1	350,000.00		1.0
Sin datos	32	-		0.0
Total	212	48,764,372.00		
Recarga anual		34,000,000.00		100.0
Déficit		14,764,372.00		43.4

Tabla 1. Volumen de agua subterránea concesionado en el acuífero del Valle de Amazcala. Fuente: elaboración propia con base en el REPDA (2018).

La tabla anterior muestra que, del volumen total concesionado para los usuarios, el 43.4% rebasa la recarga hídrica anual; por lo tanto, el déficit presentado se concede, siendo la sobreexplotación un artificio técnico para controlar el destino y la dotación del agua subterránea. Además, existen registros en el REPDA que no presentan ningún dato sobre el volumen concesionado (véase figura 3). Estas concesiones pueden estar reservadas para los estudios de factibilidad técnica en el proceso de cambio de uso de suelo, de agrícola ejidal a industrial y residencial.

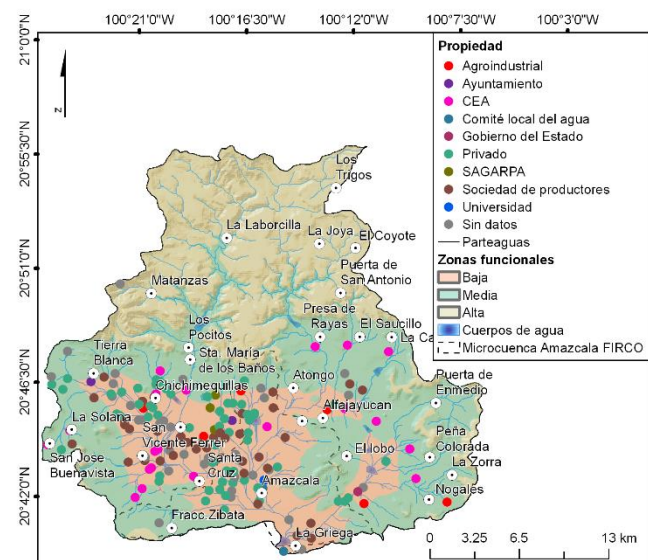


Figura 3. Concentración del agua subterránea. Fuente: elaboración propia con base en el REPDA (2018).

Discusión

A partir del análisis del REPDA y las entrevistas, se encontró que el sector privado concentra hasta el 89.5% de los 34 millones de metros cúbicos que se recargan anualmente al acuífero bajo el régimen de personas físicas y morales. Este porcentaje constituye no solo el déficit para considerarlo como sobreexplotado, sino casi el total de la recarga media anual.

Cabe señalar que los mecanismos que emplean las familias agro-empresariales para concentrar y controlar el agua subterránea se ejercen a partir de la transferencia y compra de los títulos de concesión de los pequeños productores ejidales, como es el caso del ejido de Santa Cruz. En esta localidad, los ejidatarios vendieron sus tierras de uso común; así fue posible la existencia de una de las colonias con más plusvalía en Querétaro: el fraccionamiento Zibatá. A decir de los ejidatarios, dichas familias de la élite queretana poseen, además del control de las principales empresas inmobiliarias y constructoras, entre otras, “relaciones de poder inmersas en la CEA y la CONAGUA para realizar los estudios de factibilidad técnica del agua en el desarrollo de zonas habitacionales, industriales y centros comerciales”.

Conclusiones

La concentración y el control del agua subterránea en el Valle de Amazcala por parte de las familias agro-empresariales de la élite queretana, han ocasionado ciertas modificaciones biofísicas, culturales, sociales y económicas en las formas tradicionales de gestionar y utilizar toda el agua en el Valle de Amazcala. Podemos concluir que esta concentración de agua subterránea es posible debido a que la CONAGUA, así como la Comisión Estatal de Aguas (CEA) y el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del acuífero, aún no establece criterios estrictos de regulación de uso y manejo del agua, a fin de posibilitar la disminución de los procesos de desigualdad alrededor del agua y la tierra. Esto es un reflejo de la política clientelar del agua que promueve el Ejecutivo Federal.

La gestión del agua subterránea deberá orientarse a través de escenarios de concertación entre los distintos usuarios involucrados con el uso del acuífero del Valle de Amazcala. Las investigaciones científicas e interdisciplinarias son un instrumento de democratización ciudadana sobre lo que acontece con la dotación y la creación de los derechos de agua de la nación, desde la perspectiva del derecho humano del acceso al agua, señalado en el artículo 4° de la Constitución Mexicana.

Una democracia hídrica supone la creación de mecanismos de participación social efectivos, para que la ciudadanía vigile el destino y los intereses sobre el agua, considerando que la cuenca y el acuífero son una sola unidad de gestión integral del agua que, si es mal gestionada, pone en riesgo la seguridad hídrica.

Referencias

- Carrillo J., Peñuela L., Huízar R., Cardona A., Ortega M., Vallejo J. & Hatch G. (2011). "Capítulo 10. Conflictos por el agua subterránea". En: *Geografía de México. Una reflexión espacial contemporánea*. UNAM, Instituto de Geografía. Tomo 1, pp. 151-166. ISBN: 978-607-02-8276-8.
- CONAGUA (2018). Registro Público de los Derechos del Agua. Información Estadística. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/438360/qro_31012019.pdf
- Diario Oficial de la Federación (2018). Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5406343&fecha=04/09/2015
- Hernández E. (2014). *Caracterización hidrogeoquímica, calidad del agua e identificación de áreas de recarga en los acuíferos Amazcala-Buenavista mediante geoquímica e isótopos estables*, tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- Hoogesteger J. & Wester P. (2018). Gestión del agua subterránea de uso agrícola: los retos de la sustentabilidad socio-ambiental y la equidad. *Cuadernos de Geografía*, 101, 51-70.
- Miranda E. (2005). *Del Querétaro rural al industrial, 1940-1973*. Querétaro: Miguel Ángel Porrúa, Gobierno del Estado de Querétaro.
- Porto-Gonçalves C.W. (2006). *A globalização da natureza e a natureza da globalização*. Rio de Janeiro, Brasil: Civilização Brasileira.
- Rolland L. & Cárdenas Y. (2010). La gestión del agua en México. *POLIS*, 6 (2), 155-188.
- Schmidt S. & Hatch G. (2012). El agua en México. *Foreign Affairs Latinoamérica*, 12 (4), 89-96.
- SEMARNAT (2011). *Estadísticas del agua en México*. Recuperado de: http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf
- Wester P. & Hoogesteger J. (2011). Uso intensivo y despojo del agua subterránea: hacia una conceptualización de los conflictos y la concentración del acceso al agua subterránea. En: R.A. Boelens, L. Cremers & M.Z. Zwarteveen (eds.), *Justicia hídrica: acumulación, conflicto y acción social*, pp. 111-133. Lima: Justicia Hídrica, IEP, PUCP.

Priorización ambiental de microcuencas: una oportunidad para Querétaro

Miguel Ángel Domínguez Cortázar¹, Raúl Francisco Pineda López¹, José Luis Miranda Jiménez¹, Gabriela Batalla Camargo¹

¹Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.
migueld@uaq.mx, rfpineda@uaq.mx, pepemiranda.jlmj@gmail.com, gbatallac@gmail.com

Resumen

El análisis del territorio del Estado de Querétaro, en función de la delimitación y características ambientales de sus microcuencas, es fundamental para proponer su manejo integrado, como una oportunidad de conservar y manejar el patrimonio natural del Estado. Asimismo, como base para impulsar su desarrollo económico y como una estrategia para mitigar los riesgos derivados de eventos naturales, los efectos del cambio climático y la creciente pobreza del campo. Con este enfoque, y a partir de un análisis multicriterio, se priorizaron cinco niveles para la mejora ambiental de microcuencas en el territorio estatal.

Palabras clave: priorización, microcuencas, Querétaro

Abstract

Territorial analysis of Querétaro State, by using micro-watersheds and its environmental features, is a baseline to propose a watershed integrated management, as an opportunity to preserve state natural heritage, it also could help to improve economic development and as a strategy to mitigate the risks arising from natural events, the effects of climate change and the growing poverty of the countryside. This approach uses multicriteria analysis to determine five priority levels for the environmental improvement of micro-watersheds in the state territory.

Keywords: prioritization, micro-watersheds, Queretaro

Artículo arbitrado

Recibido:
10 de abril de 2019

Aceptado:
06 de septiembre de 2019

Introducción

El Estado de Querétaro es un territorio donde la Modernidad se manifiesta en una sensible pérdida de su aptitud agropecuaria, que se dirige hacia la urbanización e industrialización del sur de su territorio y rumbo al abandono del campo en su zona centro-norte. No es un territorio de aptitud forestal maderable, pero sí de explotación de plantas nativas no maderables como el orégano (*Lippia graveolens*) y la damiana (*Turnera difusa*). Su potencial productivo hacia actividades como el turismo, la minería y la agroindustria no han sido aprovechadas, debido a la escasa preparación de la población rural, lo cual es producto de una inequidad entre el campo y la ciudad, heredada desde los sistemas hacendarios previos a la Revolución.

En este trabajo se presenta una forma diferente de ver el territorio, donde la cuenca y la microcuenca son las divisiones naturales del mismo. Implican una visión socio-ecosistémica, donde las divisiones hidrográficas tienen su propia dinámica y los componentes suelo, agua y biodiversidad interactúan de formas predecibles para determinar un funcionamiento específico. Además ambas, estructura y funciones, son modificadas por las actividades humanas.

Esta forma de ver el territorio no es nueva, Cotler y Pineda (2008), hacen un recuento histórico de las principales aproximaciones a la gestión del territorio basado en cuencas, y a los resultados obtenidos en nuestro país. En él, resalta la aproximación del FIRCO-SAGARPA mediante el Programa Nacional de Microcuencas, con una visión centrada en el desarrollo rural, pero considerando su equilibrio con las dimensiones ambiental y humana. Este exitoso programa, basado esto en sus resultados derivados de una pírrica inversión en el mismo, fue eliminado sin razón, o por razones políticas, por un equipo central de planeación a nivel federal en el 2009.

Los territorios delimitados de manera natural, como las cuencas, son los más apropiados para determinar pautas y procesos para el aprovechamiento y

conservación de la biodiversidad, los suelos y el agua.

En este contexto, la planeación y el uso del territorio se hace mediante lo que llamamos el Manejo Integrado de Cuencas (MIC) que implica la comprensión ordenada de la estructura y función de la cuenca (vista ésta como una jerarquía anidada: cuenca, subcuenca y microcuenca) y los modos de apropiación del territorio por sus habitantes e instituciones.

En nuestro país, el enfoque de trabajo basado en cuencas está reconocido por varias leyes que tienen que ver con el manejo de nuestro capital natural como base del desarrollo, por ejemplo: la Ley Federal de Desarrollo Rural Sustentable, la Ley de Aguas Nacionales y la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable. Sin embargo, existe un fuerte vacío de preparación de los tomadores de decisiones, de los técnicos gubernamentales y de la población en general, con respecto a las ventajas de analizar el territorio considerando a las cuencas como unidad de planeación y atención.

En el contexto global-local, este enfoque permite plantear soluciones permanentes e integradas para equilibrar las desigualdades entre ciudad y campo, frenar el deterioro del patrimonio natural, asegurar la provisión de los servicios ecosistémicos, promover la adaptación al cambio climático, aumentar la resiliencia hacia los desastres naturales, frenar o disminuir los cambios excesivos de uso del suelo, promover una educación para la vida de todos los habitantes e integrar una economía basada en los recursos naturales disponibles y su transformación con valor agregado.

Métodos

La división territorial del Estado de Querétaro en microcuencas se obtuvo del Programa Regional de Ordenamiento Ecológico de Querétaro (PROEQ), en su versión 2008, que incluye 244 microcuencas. Se consideró el análisis de la fragilidad ecológica asignando rangos a cada microcuenca con base en el análisis de la capa ráster del PROEQ.

Por otro lado, el modelo de priorización ambiental de microcuencas está inspirado en la teoría de decisión de Saaty (1977) y se implementó mediante aplicación de la técnica conocida como Evaluación Multicriterio (EM). Se fundamenta integradamente (a través del concepto de cuenca hidrográfica) en siete criterios que reflejan el estado que guardan los recursos naturales, así como el grado de marginación de los habitantes de estos espacios territoriales. Se entiende como criterio al insumo a través del cual una decisión puede ser medida y evaluada. En cierta forma, es la evidencia a partir del cual el tomador de decisión elige la mejor alternativa. Aunque los criterios pueden ser de dos tipos: factores y condicionantes (Eastman, 2002), en el modelo que se aplica, los criterios son aquellos factores que reflejan el estado en que se encuentra una microcuenca y que influyen en el orden que ella ocupará en el mapa jerarquizado. Se incluye también un criterio condicionante en relación a los límites espaciales de las unidades de análisis, es decir, el modelo de priorización se basa en el mapa de microcuencas de Querétaro, por lo que la unidad de análisis es de tipo hidrográfica y todos los factores que en él intervengan tienen que ser evaluados dentro de estos límites espaciales.

La selección de los criterios de priorización se hizo mediante talleres multi-sectoriales donde participaron dependencias públicas y organizaciones no gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. Se discutieron los distintos enfoques para la atención de la problemática regional del Estado de Querétaro. El ejercicio permitió establecer horizontes espaciales para la definición de aquellas microcuencas donde es necesario ejecutar las acciones de intervención y la medición del impacto de políticas y estrategias ambientales.

Con esta primera discusión, se acordó que el enfoque para abordar el estudio, debía ser el llamado enfoque *crítico*; esto es, se debe privilegiar a aquellas microcuencas con mayor nivel de degradación. Una vez definido el enfoque y con la información disponible, se discutieron los criterios que debían incluirse para el análisis de priorización. De tales

criterios se definió la *variable* o el *conjunto de variables*, que permitieran cuantificarlos, así como la fuente de información de dichas variables (véase tabla 1). Los criterios fueron seleccionados de acuerdo con la problemática preponderante en cada región del Estado. No está por demás aclarar que un requisito para la selección de cada variable fue la disponibilidad de la información asociada a ella y que, dicha información, tenía que estar igualmente disponible en un formato de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los criterios seleccionados fueron agrupados por tipo de indicador (basado en un modelo de tipo presión-respuesta) y se consignan en la Tabla 1, en función también de la dependencia que aporta la información y el año de validación de esta última.

Tipo de Indicador	Variable Criterio	Fuente	Año
Presión demográfica y territorial	Densidad de población.	INEGI	2000
	Uso de suelo y vegetación.	Inventario Nacional (SEMARNAT) SEDESU	2000
Desarrollo social	Marginación.	COESPO CONAPO	2000
Calidad ambiental	Contaminación de corrientes de agua superficiales.	CNA	2002
	Incendios forestales e ilícitos	SEMARNAT /PROFEPA	2001-2002
	Erosión hídrica de suelos (riesgo).	UAQ	2001
Ordenamiento del territorio	Sobre-explotación de acuíferos.	CNA	2002

Tabla 1. Selección de criterios para la priorización de microcuencas, cada criterio se analizó para todo el Estado de Querétaro y se recortó como fuera necesario para cada microcuenca. Fuente: elaboración propia.

Uno de los principales problemas asociados a la información espacial, relacionados particularmente con el manejo de cuencas hidrográficas, es la variación espacial y temporal de la información, además de su escasez y fiabilidad. Para trabajar áreas mínimas de estudio, por ejemplo, polígonos de

microcuencas, la escala 1:50,000 o menor sería la más adecuada, ya que se trata de estudios a nivel local. Sin embargo, no toda la información está disponible con este nivel de detalle, lo común es que sea la escala 1:250,000 la de mayor disponibilidad. Por esta razón, los criterios indicados en la Tabla 1 fueron especializados con base a escalas distintas; por ejemplo, el uso del suelo y vegetación, así como la erosión hídrica del Estado, tienen como origen la escala 1:250,000. Los mapas criterio de densidad poblacional, marginación, contaminación e incendios fueron preparados a partir de la información puntual, sea de INEGI, CONAPO o de las dependencias señaladas en el Tabla 1. Conviene señalar que, en todos los casos, la extrapolación al ámbito de las microcuencas fue realizada con las herramientas típicas de SIG. Esto significa que, en el modelo de priorización, el conjunto de mapas criterio consideran siempre a las microcuencas como las unidades de análisis. Así, a partir de su caracterización, cada microcuenca fue evaluada con un *score* único para cada criterio, estableciendo una escala de valores estandarizados (normalizados según Voogd, 1983) antes de proceder a su combinación lineal a través de la ecuación:

$$IP = \sum_{i=1}^n W_i X_i$$

Donde,

IP es el índice de priorización.

n es el número de criterios involucrados.

W_i es el factor de ponderación, para cada criterio de priorización *X_i*.

La selección de los criterios tiene como base el trabajo realizado en talleres multi-institucionales con la participación de dependencias públicas y organizaciones no gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. Estos talleres sirvieron igualmente como juicio de expertos para establecer las ponderaciones correspondientes a partir de la técnica conocida como Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process, AHP*) (Saaty, 1980).

Como es de esperarse, no todos los criterios son evaluables numéricamente, por lo que es indispensable considerar una relación de escalamiento estandarizada que los evalúe en una misma escala de valores. Entre los distintos procedimientos para la estandarización de estos últimos (Voogd, 1983), se adoptó una relación lineal simple entre los valores extremos como se describe con la expresión siguiente:

$$X_i = (R_i - R_{\min}) / (R_{\max} - R_{\min})$$

Donde,

R_i es el valor que toma el criterio en su propia escala de medida.

R_{min}, *R_{max}* son los valores extremos del criterio considerado, también en su propia escala de medida.

La relación anterior significa que, para cada criterio y para cada microcuenca, se adopta el intervalo 0-1 como rango de los *score*. Así, tomando en cuenta el enfoque crítico del trabajo, los valores más altos se otorgan a aquellas microcuencas cuyo nivel de degradación es mayor, mientras que los valores más bajos a las microcuencas más conservadas.

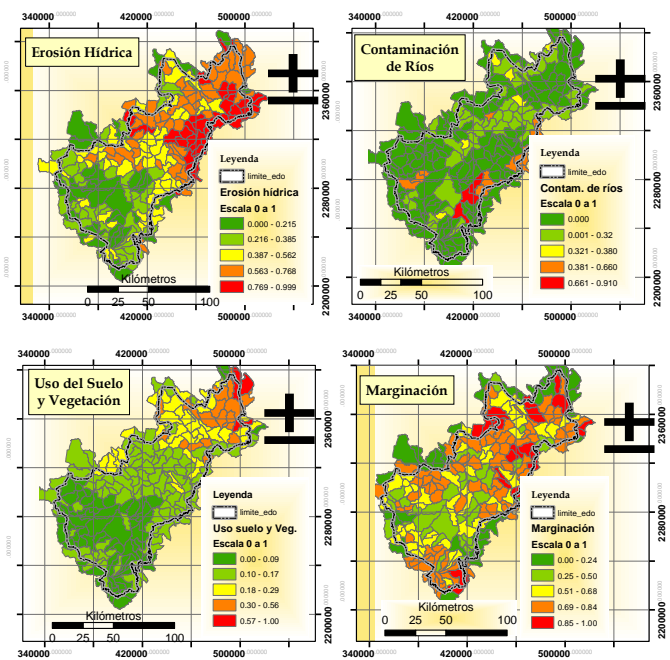


Figura 1. Mapas-criterios para el modelo de priorización de microcuencas. Fuente: elaboración propia.

La sistematización de la información permitió generar un mapa de microcuencas para cada uno de los criterios seleccionados, la Figura 1 muestra como ejemplo a 4 de ellos.

Por su parte, el cálculo de los factores de ponderación para los 7 criterios seleccionados se llevó a cabo con ayuda del módulo WEIGHT del software IDRISI (1995). Esto implica la comparación de pares de factores en una matriz cuadrada e inversamente simétrica. Para la elaboración de estas matrices se proponen (vía juicio de expertos) puntuaciones de importancia relativa a cada criterio de priorización. IDRISI proporciona entonces un método matemático que permite traducir estas matrices en un peso numérico para cada criterio. Se propusieron igualmente dos escenarios de valoración de la importancia de cada criterio con relación a los demás. La Tabla 2 muestra las ponderaciones adoptadas con base en la escala propuesta por Saaty (1977).

Criterios	Factores de Ponderación W_i	
	Escenario 1	Escenario 2
Marginación	0.3721	0.2292
Uso suelo y vegetación	0.2700	0.3415
Erosión hídrica de suelos	0.1667	0.1570
Sobre-explotación de acuíferos	0.0917	0.1331
Densidad poblacional	0.0505	0.0464
Contaminación de ríos	0.0306	0.0657
Incendios forestales e ilícitos	0.0183	0.0270
Razón de Consistencia	0.09	0.10

Tabla 2. Valores de importancia (ponderaciones) de las variables criterio. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, dado que la valoración de las importancias relativas es subjetiva, pueden plantearse muchas comparaciones, por lo que se debe determinar el nivel de consistencia en la determinación de las ponderaciones. De acuerdo con Saaty (1994), la razón de consistencia (CR) indica la probabilidad de que la matriz de importancias relativas sea determinada de manera aleatoria. De acuerdo con este autor, un valor de CR por arriba de 0.10 indica que la importancia asignada a cada criterio debe ser revalorada. En términos simples, una razón de consistencia aceptable indica que: si el

criterio i tiene un peso superior al de j y a su vez éste tiene un peso superior al de k , entonces el criterio i deberá ser más importante que el criterio k (Saaty, 1994). En los dos escenarios, las razones de consistencia son aceptables, ya que en ambos casos son menores o iguales a 0.10 (Saaty, 1980). Con todo lo anterior, se aplicó el modelo de priorización para las 244 microcuencas de Querétaro.

Resultados

Microcuencas y el uso del suelo

La historia de la ocupación y apropiación del territorio estatal y sus recursos, ligada a fuerzas sociales, económicas y políticas, ha conducido a distintos grados de desarrollo, crecimiento económico y poblacional de las microcuencas presentes en la entidad. Lo que también ha repercutido en la disminución del estado de conservación de sus ecosistemas y el grado de degradación que presentan sus recursos. A manera de ejemplo, la Figura 2 muestra la distribución de la vegetación y los usos del suelo en la microcuenca Tierra Fría del municipio de Jalpan de Serra. Se observa que más del 75% de la superficie de la microcuenca presenta condiciones de perturbación en la vegetación, principalmente en el bosque tropical caducifolio y en el matorral subinerme.

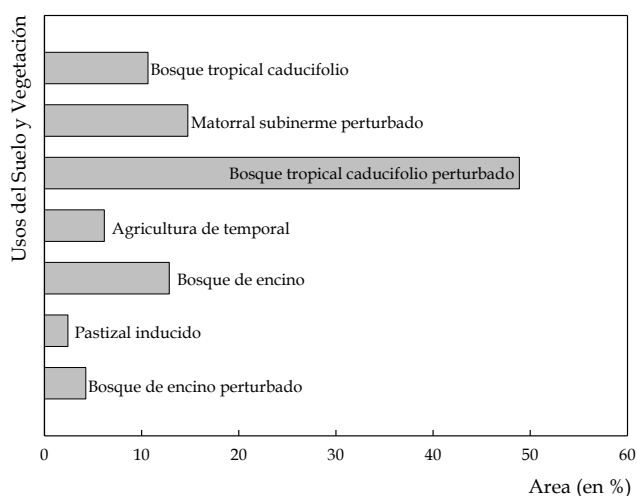


Figura 2. Proporción de la vegetación y los usos del suelo en la microcuenca Tierra Fría, Jalpan, Querétaro. Fuente: elaboración propia.

Microcuencas y sus zonas funcionales

En cada microcuenca es posible diferenciar zonas funcionales a partir del conocimiento de la dinámica hídrica (superficial y subterránea), los flujos de nutrientes y el intercambio de materia y energía. Cada una de estas zonas juega un papel particular en el funcionamiento hidro-ecológico de la cuenca y presenta un grado de fragilidad diferente (Priego y Cotler, 2004). Las zonas altas o cabeceras, son áreas de alta fragilidad, pero también de captación del agua proveniente de las precipitaciones. La zona media, tiene funciones mixtas tanto de almacenaje como de transporte de agua y materiales cuenca abajo. Finalmente, la zona baja o de emisión, es donde se descarga o da salida al agua y materiales. En la Figura 3, se muestran las zonas funcionales de las microcuencas de Querétaro y representan un insumo básico para el proceso de priorización y las estrategias de manejo posteriores.

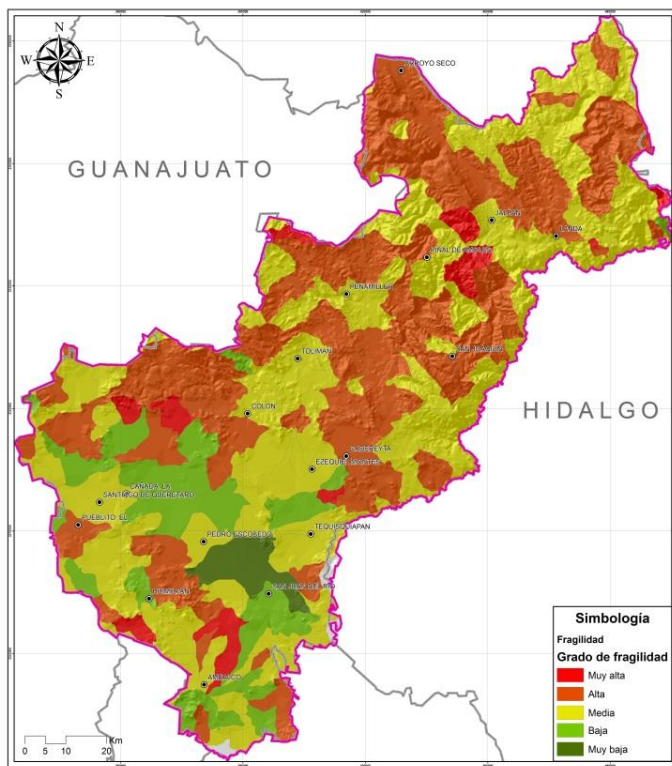


Figura 3. Distribución de las zonas funcionales de las microcuencas de Querétaro. Fuente: elaboración propia.

Priorización ambiental de microcuencas

Para el escenario 1, los valores de importancia más significativos fueron asignados a los criterios de

marginación, uso del suelo y vegetación y erosión hídrica respectivamente; en tanto que, para el segundo escenario, se invirtió la importancia de los dos primeros.

En los resultados que aparecen en la Figura 4, los niveles de prioridad se establecieron con base en una clasificación por intervalos iguales. Se adoptaron cinco niveles de prioridad: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto. Las microcuencas con mayor prioridad ambiental se ubican al norte del Estado y corresponden en su mayoría a la región de la Sierra Gorda.

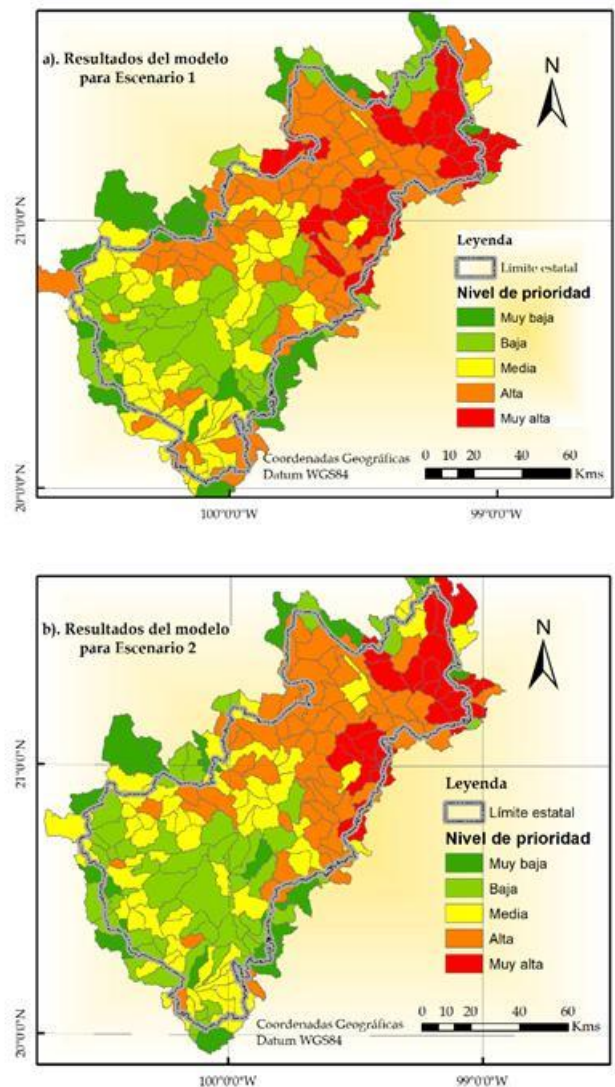


Figura 4. Resultados del modelo de priorización para los dos escenarios analizados. Fuente: elaboración propia.

En ambos casos los resultados son muy semejantes; para el escenario uno, se obtuvieron 33 de las 224 microcuencas (15 % aproximadamente) con la máxima prioridad. En este caso, la máxima importancia está influenciada de manera determinante por el nivel de marginación, seguida de la perturbación de la vegetación. Para el escenario dos, el número de microcuencas con prioridad más alta fue de 24 (11 % aproximadamente). A diferencia del caso anterior, aquí se refleja en primera instancia la perturbación de la vegetación, seguido de los niveles de marginación de las comunidades.

Con el fin de mostrar la consistencia de los resultados, se muestra en la Figura 5 una de las microcuencas que con mayor prioridad resultaron para el municipio de Jalpan de Serra. En esta microcuenca todas las comunidades ahí asentadas presentan un grado de marginación muy alto, el uso del suelo y la vegetación muestra que el 76.5 % de la superficie de la microcuenca presenta niveles de perturbación en su cobertura vegetal. Adicionalmente, de acuerdo con estimaciones de erosión hídrica, el 24% de la superficie de la microcuenca presenta tasas de erosión severa. La combinación de los tres criterios anteriores refleja la importancia de atender prioritariamente a esta unidad dentro de un plan de manejo estatal de microcuencas.

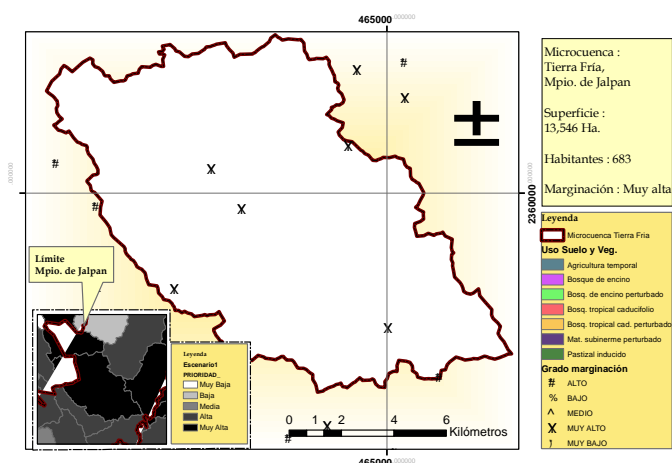


Figura 5. Microcuenca de alta prioridad con el escenario 1 en el municipio de Jalpan de Serra, Querétaro. Fuente: elaboración propia.

Discusión y conclusiones

Las microcuencas resultantes con una muy alta prioridad deberían ser atendidas en primera instancia con los programas y acciones que cada dependencia tenga a su cargo de manera sectorizada o, mejor aún, de manera integrada entre las distintas dependencias, a fin de potenciar los programas de intervención. La metodología que se presenta fue discutida y consensuada entre distintos sectores relacionados con la gestión ambiental del Estado de Querétaro, tanto de gobierno como del sector social.

El modelo operativo derivado de este análisis tendría las siguientes ventajas asociadas al manejo de microcuencas (Pineda et al, 2003):

1. Permite una integración de dependencias de los tres niveles de gobierno a través de ordenar su impacto y promover sinergias.
2. Orienta y hace eficiente el uso de recursos financieros.
3. Permite priorizar actividades que integren producción y conservación de los recursos naturales.
4. La operación de proyectos se facilita con la capacitación inicial y permite la formación de gestores comunitarios.
5. En caso de operar proyectos sin éxito, el gasto es mínimo, permitiendo un manejo adaptativo de los mismos y la difusión de sus fallas.
6. Facilita la autogestión, empoderamiento, el enfoque de género, la promoción de la cultura y el respeto a los Derechos Humanos, al medio ambiente sano y al agua.
7. Los conflictos son resueltos a una escala pequeña, lo cual posibilita aprender de ellos.
8. Promueve el arraigo comunitario y personal al establecer oportunidades de negocios colectivos.
9. Permite una integración de escalas entre la cuenca o subcuenca para la planeación y la microcuenca para la atención-intervención.
10. Favorece la diversificación productiva y la restitución del tejido social.
11. Permite la recuperación del patrimonio/capital natural, que actualmente se ubica en un contexto de constante deterioro.
12. Facilita la inclusión de proyectos productivos y sociales innovadores.
13. Integra los esfuerzos de la sociedad, con sus organizaciones, la Academia y los diferentes niveles de gobierno.

Así, el modelo propuesto pretende servir de guía en el proceso de planeación de acciones de inversión del sector público. La importancia de este ejercicio

radica en su nivel de consenso entre los distintos actores que participaron en los talleres y seminarios de discusión. Para la identificación de las microcuencas prioritarias, se utilizó una combinación de criterios relativos a las características geomorfológicas y ecológicas de las regiones, así como la distribución y características de los asentamientos humanos en las mismas. En cuanto a los aspectos sociales y económicos, los criterios están basados principalmente en los índices de marginación de cada comunidad asentada en las microcuencas; este es un indicador integrado que incluye, a su vez, nueve parámetros de tipo socioeconómico.

Perspectivas

Este mismo modelo de priorización puede ser aplicado para el manejo de microcuencas urbanas y semiurbanas, como resultado se tienen varias ventajas: permite tomar decisiones para la promoción del desarrollo económico y la prevención de posibles riesgos derivados de eventos naturales, además de la conservación de los recursos naturales, a través de la promoción de procesos de integración de las dinámicas rural-urbana y de un mejor desarrollo del capital humano. La visión integrada de las microcuencas ha permitido aprovechar oportunidades de conservación basadas en la participación de los actores que habitan o inciden en éstas y operada a través de los municipios (UAQ 2004).

Para las microcuencas urbanas y periurbanas se han propuesto diversas zonas de protección de sus cabeceras, debido a los crecientes niveles de alteración por prácticas de manejo inadecuadas (sobrepastoreo y deforestación) y al incremento de la presión del desarrollo urbano, a través de la compra de tierras ejidales por particulares y consorcios de la construcción. Sin duda, conservar y aprovechar adecuadamente estas zonas, mediante esquemas de pago por servicios ecosistémicos y sistemas de comercio justo rural-urbano, serán nuestras mejores inversiones para el futuro sustentable de la zona metropolitana de Querétaro.

Referencias bibliográficas

- Cotler, H. y Pineda, R. (2008). Manejo Integral de Cuencas en México ¿Hacia dónde vamos?. *Boletín del Archivo Histórico del Agua*. 13(39), pp.16-21.
- Eastman, J. R. (1995). *Idrisi for Windows, user's guide version 1.0*. Clark University: Worcester Mass, 485 pp.
- Priego A. y Cotler, H. (2004). El análisis del paisaje como base para el manejo integrado de cuencas: el caso de la cuenca Lerma-Chapala. En: Cotler, H. (Comp.). *El manejo integral de cuencas en México*. México: SEMARNAT-INE, pp. 79-90.
- Pineda, R., Sorani, V., Ongay, E., López, C., Urbina, F., E. Díaz y A. Navarro. (2003). Análisis para el establecimiento de unidades de manejo ambiental en los municipios de Tepic, Xalisco, Compostela, Bahía de Banderas y San Blas en Nayarit. Instituto Nayarita para el desarrollo sustentable. Gobierno del Estado de Nayarit, 320 pp.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* (15), pp. 234-281.
- Saaty, T. L. (1980). *Multicriteria Decision Making: The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. (1994). *The Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process*. RSW Publications, VI, AHP Series. New York: McGraw-Hill.
- Universidad Autónoma de Querétaro-Municipio de Querétaro. (2004). *Planes Rectores de Producción y Conservación de las Microcuencas de Santa Rosa Jáuregui y Tlacote El Bajo*. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro-Municipio de Querétaro.
- Voogd, H., (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Delft: delftsche uitgevers maatschappij. Pion, Ltd. London, England-UK.

