

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.

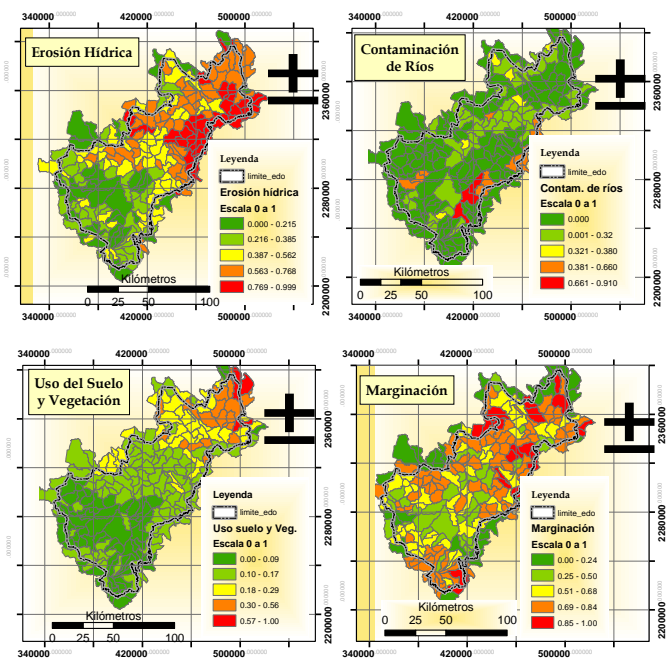


Figura 1. Mapas-criterios para el modelo de priorización de microcuencas. Fuente: elaboración propia.

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.

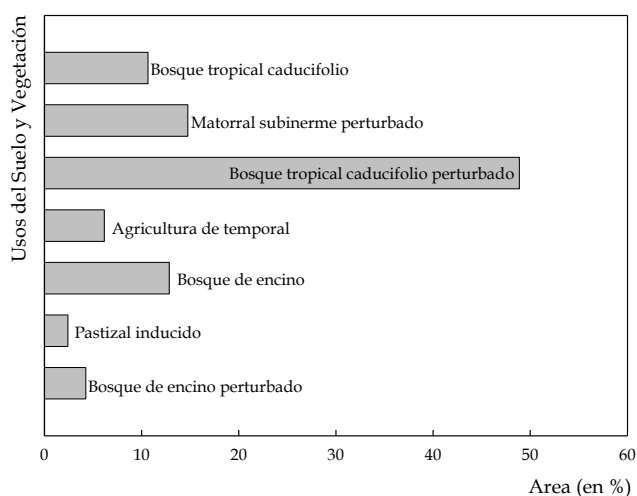


Figura 2. Proporción de la vegetación y los usos del suelo en la microcuenca Tierra Fría, Jalpan, Querétaro. Fuente: elaboración propia.

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.

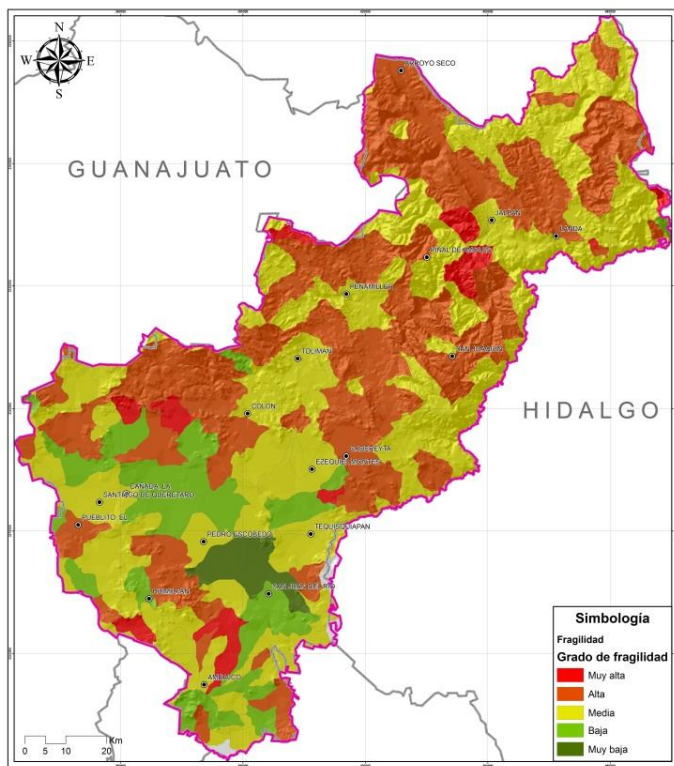


Figura 3. Distribución de las zonas funcionales de las microcuencas de Querétaro. Fuente: elaboración propia.

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.

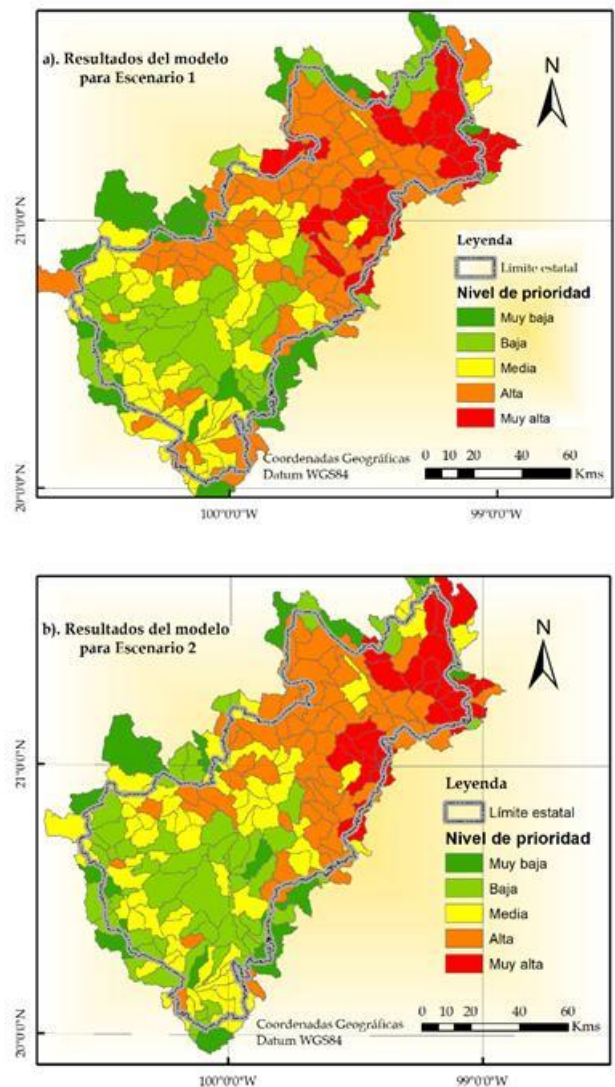


Figura 4. Resultados del modelo de priorización para los dos escenarios analizados. Fuente: elaboración propia.

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.

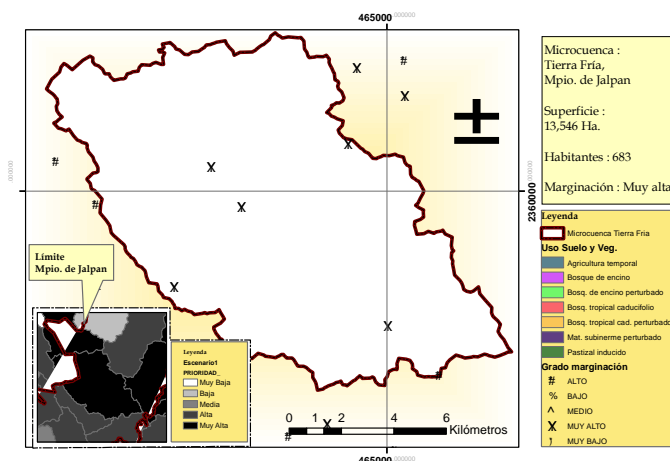


Figura 5. Microcuenca de alta prioridad con el escenario 1 en el municipio de Jalpan de Serra, Querétaro. Fuente: elaboración propia.

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.