

Zonificación territorial de la cuenca del Río Eslava, D. F., a partir de la identificación de áreas ecológicamente sensibles

Marta Magdalena Chávez Cortés¹ y Liliana García Calva

***Resumen.** La cuenca del Río Eslava es una importante proveedora de servicios ecosistémicos para la Ciudad de México. Al mismo tiempo, es altamente vulnerable al crecimiento urbano. De aquí la importancia de mejorar la planeación del uso de su territorio. Con este fin, se presenta una propuesta de zonificación territorial elaborada con un enfoque de riesgo ecológico, entendido como el producto de la interacción entre las dimensiones de vulnerabilidad del área de estudio y la acción de un peligro. La vulnerabilidad se modeló delimitando las Áreas Ecológicamente Sensibles (AES) en términos de susceptibilidad a la erosión, el valor hidrológico y el valor de hábitat. El peligro con el cual se confrontaron estas AES fue el crecimiento potencial de los asentamientos humanos. A partir de este diagnóstico, se regionalizó la cuenca con base en las políticas de protección, restauración, preservación y aprovechamiento sustentable de recursos naturales y ecosistemas.*

***Palabras clave:** Zonificación territorial, Áreas ecológicamente sensibles, Vulnerabilidad, Riesgo ecológico, Cuencas.*

¹ Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Planeación Ambiental, Departamento El Hombre y su Ambiente, e-mail: cmm1320@correo.xoc.uam.mx

Abstract. *The Eslava River watershed is an important provider of ecosystem services for Mexico City. At the same time, it is highly vulnerable to urban growth. Consequently, it is important to improve planning of its territorial use. Towards this goal, a zonification proposal is presented built from a perspective of ecological risk, understood as the interaction between the vulnerability dimensions of the area of study and the action of a hazard. Vulnerability was modeled by delimitating Ecologically Sensitive Areas (ESA) in terms of their susceptibility to erosion and their hydrological and habitat values. The hazard against which the ESA were confronted was the potential growth of human settlements. Starting from this diagnostic, the watershed was regionalized based on the current policies of protection, restoration, conservation and sustainable use of natural resources and ecosystems.*

Keywords. *Territorial zonification, Ecologically sensitive areas, Vulnerability, Ecological risk, Watersheds.*

INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático (cc) es una de las consecuencias más preocupantes de la actividad humana sobre la naturaleza, la cual está poniendo en serio riesgo el ambiente, la economía y el bienestar de la humanidad. En la gestación de este problema, es sabido que, además del uso de combustibles fósiles en la generación de energía y transporte, el cambio de uso de suelo es una de las principales causas del incremento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y, por ello, hay que planificarlo adecuadamente (Moreno y Urbina, 2008).

Ahora bien, independientemente de que a lo largo de la historia humana se han presentado retos por cambios en las condiciones ambientales, y las sociedades humanas en general se han adaptado para enfrentar los efectos del cc será necesario desarrollar capacidades preventivas y de respuesta ante los posibles impactos adversos. De aquí que la adaptación

social y ecológica al cc se esté volviendo un reto prioritario a nivel mundial en las políticas de ordenamiento territorial (Millenium Ecosystems Assessment, 2005). En este sentido, se puede decir que las capacidades adaptativas de los ecosistemas para hacer frente al cc mejoran con la capacidad de manejo de la resiliencia. Es decir, con la resistencia que presenten frente a una situación de estrés y con su capacidad de regeneración después de una perturbación (Walker *et al.*, 2004). Bajo esta misma perspectiva, la noción de vulnerabilidad/sensibilidad de un ecosistema se configura como un factor importante, pues permite identificar oportunidades de prevención, reducción, tratamiento y adaptación ante los efectos del cc (Miller *et al.*, 2010).

En el contexto nacional, dichas condiciones de vulnerabilidad y de capacidad adaptativa de los ecosistemas adquieren una importancia cada vez más creciente, ya que las condiciones previstas para nuestro país durante el presente siglo son de un aumento en la aridez (Giorgi y Bi, 2005). Esto debido a un decremento en las precipitaciones de hasta 6% en los próximos años, y a un incremento en las temperaturas de superficie de hasta 5°C para la última década del siglo (Martínez *et al.*, 2010). Fenómenos que llevarían a un aumento del estrés en los ecosistemas y a una disminución de los servicios que estos proveen –particularmente los de producción y de regulación hidrológica–, con lo cual se minaría la capacidad de adaptación de la sociedad ante la variación climática (Moreno y Urbina, 2008).

En el contexto local y como ecosistemas que son, las cuencas del Río Eslava y del Río Magdalena no son ajenas a esta situación de estrés, pues están sujetas a una fuerte presión de cambio de uso de suelo forestal a urbano. Prueba de ello es 29% de aumento del territorio urbano de la delegación Magdalena Contreras en un periodo de sólo 40 años (1960-2000) (INEGI, 2000, en Fernández *et al.*, 2002). En este proceso ha sido clave la urbanización de zonas ribereñas y de recarga de acuíferos, pues han dado lugar a varios de los problemas más significativos en la gestión de los servicios hidrológicos: erosión, sedimentación, contami-

nación y disminución en la captación de agua (Priyantha *et al.*, 2006). De seguir esta tendencia se pondría en riesgo la capacidad de estos ecosistemas para poder reorganizarse y alcanzar un nuevo estado de equilibrio estable (Walker *et al.*, 2004). Situación que llevaría implícita una reducción en su capacidad para proveer de bienes y servicios tanto a la comunidad que vive dentro de la cuenca, como a los habitantes del D.F. Por ejemplo, por cada hectárea de bosque de *Pinus Hartewii* y de *Abies religiosa* que se perdieran en la cuenca, se estaría desaprovechando la oportunidad de almacenar un total de 102 tC, mismas que se liberarían hacia la atmósfera (Almeida *et al.*, 2007). O bien, ante la deforestación, se estaría atentando contra la posibilidad de captar el millón de m³/año de agua de escurrimiento que actualmente se da en la cuenca (Vargas, 2008, en SMADF, 2008). Amén de la disminución del fenómeno de la evapotranspiración –el cual influye en la regulación del microclima (Borman y Likens, 1979)–, y de las oportunidades de esparcimiento que actualmente provee el Parque Ejidal de San Nicolás Totolapan.

Dada la importancia de esta cuenca y su vulnerabilidad al crecimiento urbano, es indispensable realizar estudios que mejoren la planeación de estrategias dirigidas a mejorar su resiliencia. Una modalidad de esos estudios es la que tiene que ver con el ordenamiento del territorio en el marco de la sustentabilidad ambiental. Esta visión implica promover una filosofía de gestión en donde se reconozca que, tan valiosas son las oportunidades para el desarrollo humano, como la preservación de los ecosistemas y sus servicios ambientales, pues éstos constituyen el soporte de vida de las localidades y regiones (Chávez *et al.*, 2010; Recalde y Zapata, 2007; van Lier, 1998).

Una forma de hacer operativa esta visión es el empleo del concepto de Áreas Ecológicamente Sensibles (AES) en la zonificación que demanda el ordenamiento ecológico del territorio (Chávez, 2004; Chávez *et al.*, 2010). En esta zonificación la delimitación de entidades geográficas vinculadas a información espacial apropiada se vuelve indispensable, ya que esto coadyuva a reducir la abstracción de las buenas intenciones y

discursos, a focalizar las acciones, a establecer esquemas de reglamentación y a mejorar los procesos de evaluación (García, 2010).

La zonificación implica desarrollar un procedimiento de desagregación espacial, cuyo alcance dependerá del nivel de detalle demandado por los objetivos de la ordenación (Sánchez, 1991). Para llevar a cabo esta desagregación espacial se han empleado varias aproximaciones (Campos *et al.*, 2010; Baja *et al.*, 2002) aunque, en general, se ha dado preferencia al enfoque de las características biofísicas que dan cuenta de la vocación y uso potencial del suelo. En contraste, el concepto de AES responde a la identificación de aquellas zonas del territorio que cuentan con un valor relevante, por distintas razones: debido a sus características intrínsecas, por el papel que tienen en la persistencia de funciones ecológicas, por sus rasgos escénicos y culturales, porque brindan oportunidades para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento sustentable, o porque están sujetas a algún tipo de riesgo por la presencia de un peligro natural o antrópico (Ndubisi *et al.*, 1995, en Chávez, 2004). Desde la perspectiva de la regionalización de un territorio, identificar las áreas sensibles significa ubicar aquellas zonas que se caracterizan, tanto por su relevancia como por su susceptibilidad a modificar, en el corto plazo, los atributos (biogeofísicos, socioeconómicos y culturales) que lo hacen auténtico (Chávez *et al.*, 2010).

El concepto de AES ha sido empleado siempre en el contexto de la preocupación por la conservación de la naturaleza. Aspecto que se basa en el valor de estas áreas en términos de sus beneficios materiales e inmateriales para el ser humano (Eagles, 1984, en García, 2010). Sin embargo, es importante establecer aquí que no existe consenso sobre el contenido material o soporte técnico de una AES, ya que existen diversas concepciones dependiendo de la orientación y contexto del estudio: disponibilidad de datos, tipo de proyecto en que se empleen, y de la experiencia que cada planificador ha obtenido en este campo de estudio (Chávez, 2004). Es así que, para los países europeos, quienes en general consideran criterios de riesgo, las AES son aquellas cuyos valores natu-

rales, culturales y geográficos son susceptibles a factores de deterioro (Miklós, 1996, en Chávez, 2004). En contraste, la escuela Canadiense sigue dos aproximaciones: la de carácter público que se sustenta en criterios para el cuidado de la biodiversidad, y la de carácter privado que utiliza el criterio de disturbio. En el caso de Austria, el reconocimiento de AES se hace a partir de tres criterios: valor, fragilidad y potencial para el desarrollo sustentable (BMLFUW, CIRCA, 2000). Esta última es la aproximación utilizada en este trabajo.

Usando este marco de referencia, el objetivo de esta investigación es hacer una propuesta de zonificación territorial de la cuenca del Río Eslava que mejore su resiliencia. Es decir, que promueva el mantenimiento de la estructura del ecosistema, así como de sus funciones de regulación, formación de hábitat, producción e información (De Groot *et al.*, 2002). Se cree que esta perspectiva proveerá resultados positivos en la tarea de preservar los sistemas naturales. Por otro lado, se pretende que este trabajo se sume a los pocos estudios de caso que existen en México donde se incorpore la noción de vulnerabilidad/sensibilidad ecológica al ordenamiento territorial.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA, MÉTODOS Y TÉCNICAS

El estudio fue realizado en la cuenca del Río Eslava, la cual se localiza en la provincia fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana, al sur de la Ciudad de México, en la región donde se unen las sierras de Las Cruces, el Ajusco y Chichinautzin. Sus coordenadas geográficas extremas son: 19°15'10" y 19°17'30" latitud Norte y 99°16'40.6" y 99°15'18" longitud Este. Comprende las delegaciones Magdalena Contreras (85%) y Tlalpan (15%) del D.F., y colinda al NW con la cuenca Río Magdalena, y al S con el Estado de México. Abarca un total de 24.024 km², clasificándose como una cuenca pequeña de acuerdo a Campos-Aranda (1987). Presenta valor de elongación de 0.62, lo cual habla de los fuertes relieves y pendientes pro-

nunciadas del terreno dentro de esta cuenca. La máxima altura, ubicada en la cabecera de la cuenca, es de 3730 msnm, mientras que la mínima es de 2500 msnm (Vargas, 2008, en SMADF, 2008). Los suelos son de origen volcánico (Andosoles, Phaeozem y Leptosoles) susceptibles a la erosión hídrica (Vela *et al.*, 2008, en SMADF, 2008). El clima que predomina en la zona se ha clasificado de templado semifrío con lluvias en verano, con temperatura media de 23.4°C y fluctuaciones 6.6°C a 20.2°C. La precipitación en la cuenca registra un gradiente que va de los 700 mm anuales en la zona baja a 1174 mm en la parte alta, y se estima que el escurrimiento base es de aproximadamente 1 mm³/año (Vargas, 2008, en SEMADF, 2008).

En el área de estudio se distinguen cinco comunidades vegetales que ocupan 70% de la cuenca: la comunidad de *Pinus hartewii*, la de *Abies religiosa*, la de bosque de *Pinus spp.*, la de bosque de *Quercus spp.*, y la de bosque mixto. El restante 30% de la superficie la ocupan los pastizales inducidos, las áreas agrícolas y la zona urbana (Roldán *et al.*, 2008, en SMADF, 2008).

En esta cuenca se desarrollan actividades agrícolas, pecuarias, de transformación de los productos agrícolas y/o pecuarios, así como actividades en contacto con la naturaleza. La cuenca del Río Eslava otorga una serie de bienes y servicios ambientales a la ciudad, entre los que destacan: 1) la provisión de agua, pues aporta 2.5% del abastecimiento del agua superficial de la Ciudad de México; 2) la diversidad de plantas y animales, ya que existen diversas taxas restringidas a esta cuenca que se encuentran en alguna categoría de riesgo (Roldán *et al.* y Peña, 2008, en SMADF, 2008); 3) su capacidad de captación de carbono, ya que alberga comunidades vegetales como los bosques de *Abies religiosa* y *Pinus Hartewii*, los cuales, de acuerdo con Almeida *et al.* (2007), pueden almacenar en promedio 58 tC/ha y 44 tC/ha, respectivamente; y 4) la recreación, pues el parque San Nicolás Totolapan está inmerso en esta cuenca.

Metodológicamente, esta investigación descansó en un enfoque geográfico de riesgo y en el análisis espacial asistido por tecnología SIG.

El enfoque de riesgo utilizado se define como el producto de la interacción entre las dimensiones de la vulnerabilidad del área de estudio y la acción de un peligro (Hewit, 1977). Esto es:

$$R = f(V,P) = V \times P \quad (1)$$

Donde:

R= riesgo ecológico de la cuenca

V= vulnerabilidad ecológica de la cuenca

P= peligro al que se enfrenta la zona de estudio

Para modelar la vulnerabilidad se acudió a la delimitación de Áreas Ecológicamente Sensibles (AES) siguiendo la propuesta del Federal Ministry of Environment, Youth and Family Affairs, el cual establece tres criterios generales para identificarlas: valor, fragilidad o riesgo y potencial para el desarrollo sustentable (BMLFUW, CIRCA 2000). En este trabajo solamente se utilizaron los dos primeros criterios, ya que el foco de atención se enmarca en la noción de sustentabilidad ambiental como prerrequisito para el desarrollo sustentable.

El criterio de valor fue utilizado para modelar AES que son importantes para planear el mantenimiento a largo plazo, tanto de la disponibilidad de agua como de la diversidad biológica. De aquí que se incluyeran en esta categoría dos tipos de AES: áreas con valor de hábitat y áreas con valor hidrológico (recarga de acuíferos). Las áreas con valor de hábitat se identificaron utilizando tres métricas del paisaje: tamaño de parche, área interna y conectividad (McGarigal y Bárbara, 1995). Por su parte, las áreas con valor hidrológico se tomaron de un análisis de la permeabilidad en la cuenca, elaborado previamente por Vargas (2008, en SMADF, 2008). En lo que respecta a la dimensión de fragilidad, ésta se utilizó para identificar áreas con susceptibilidad a la erosión, por ser ésta la fuerza desestabilizadora más importante dentro de un ecosistema (Borman y Likens, 1979). Esta

susceptibilidad se modeló siguiendo el algoritmo de van Zuidam (1985), el cual considera la acción conjunta de la pendiente, del tipo de cobertura y la densidad de drenaje sobre este fenómeno.

La suma aritmética de los valores de estas tres AES definieron la vulnerabilidad ecológica de la cuenca, bajo la premisa de que los tres aspectos tienen el mismo peso relativo.

El peligro con el cual se confrontaron las AES fue el crecimiento potencial del área urbana, ya que es la principal fuerza conductora de la modificación del paisaje/territorio en el área de estudio. El peligro se modeló siguiendo la propuesta de superficies de costo de Eastman (1999), donde la magnitud del peligro es medida como el menor costo (en términos de esfuerzo, gasto, etc.) en moverse sobre una superficie de fricción. Los costos se determinan de manera radial con respecto a una fuente de origen hacia los bordes del área de estudio. Para modelarlo se tomó como variable de fricción la pendiente del terreno y se usó como fuente de origen a las superficies urbanas actuales dentro de la cuenca.

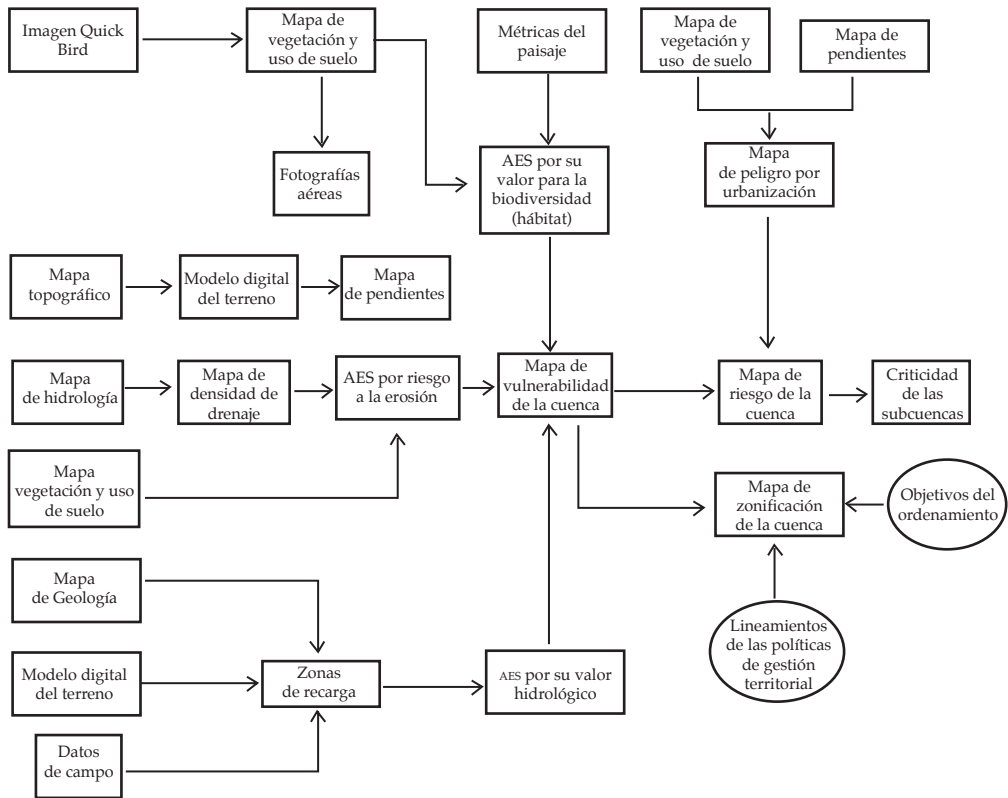
Para zonificar el área de estudio se partió de los mapas de AES y se aplicó el juicio de expertos apoyado tanto en los objetivos del ordenamiento, como en los lineamientos de las políticas de gestión territorial descritas en la LGEEPA.

Finalmente, partiendo de los mapas de vulnerabilidad y de peligro, se modeló el riesgo ecológico de la cuenca aplicando la ecuación 1, a través de una operación de álgebra de mapas. En este punto, el mapa de riesgo ecológico se clasificó con categorías cualitativas, y se calculó la proporción acumulada de la superficie de las subcuencas ocupada por las categorías: muy alto y alto. La ordenación descendente de estas proporciones permitió definir la criticidad de las subcuencas y, de ahí, su prioridad de atención de acuerdo a las políticas de ordenamiento previamente definidas en la zonificación.

Es importante hacer notar aquí que, a excepción del mapa de cobertura y uso de suelo, las capas de información utilizadas fueron de naturaleza cuantitativa, por lo cual sus valores se estandarizaron entre 0 y 1

para facilitar el manejo numérico durante el proceso de análisis espacial. Asimismo, es necesario señalar que se decidió representar la distribución espacial de las variables en términos cualitativos para facilitar su comunicación. Pero, tanto el número de categorías utilizadas, como los límites de corte entre valores numéricos para definirlas, se decidieron con base en la aplicación de las Leyes de Miller y de Weber-Fechner (1889).

Figura 1. Modelo cartográfico para la elaboración de la zonificación territorial



El diagrama de flujo que resume este proceso de análisis espacial se muestra en la figura 1. Asimismo, las fuentes de información que alimentaron el modelo de riesgo y su temporalidad se listan a continuación:

- Topografía digital de la zona elaborada por INEGI (2008a)
- Hidrología digital de la zona elaborada por INEGI(2008b)
- Límites de la cuenca y subcuencas elaborados por Vargas (2008, en SMADF, 2008), quien utilizó los criterios hidrológico y geomorfológico propuestos por Tapia-Varela y López-Blanco (2001) para su identificación.
- Mapa de cobertura y uso de suelos en la cuenca elaborado por Roldán (2008 en SMADF, 2008) a partir del análisis digital una imagen QuickBird del 2005, e interpretación visual de fotografías aéreas del 2008.
- Estudio de permeabilidad de la cuenca elaborado por Vargas (2008, en SMADF, 2008)
- Datos de campo tomados del estudio: Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Eslava (SMADF-UAMX, 2008), elaborado por el grupo de investigación al que pertenecen las autoras.

RESULTADOS

La aplicación del enfoque de riesgo al caso de estudio se resume en los mapas mostrados en las figuras 2 a 8. Los primeros cuatro mapas describen la distribución espacial de las categorías de análisis, así como su estado, lo cual permitió responder las preguntas básicas del diagnóstico que toda zonificación requiere: ¿qué hay?, ¿dónde hay?, ¿cómo se encuentra? Por su parte, el mapa 6 constituye la representación espacial de la propuesta de zonificación, la cual se sustentó en el diagnóstico previo. Asimismo, los mapas 7 y 8 ayudaron a determinar la prioridad de aten-

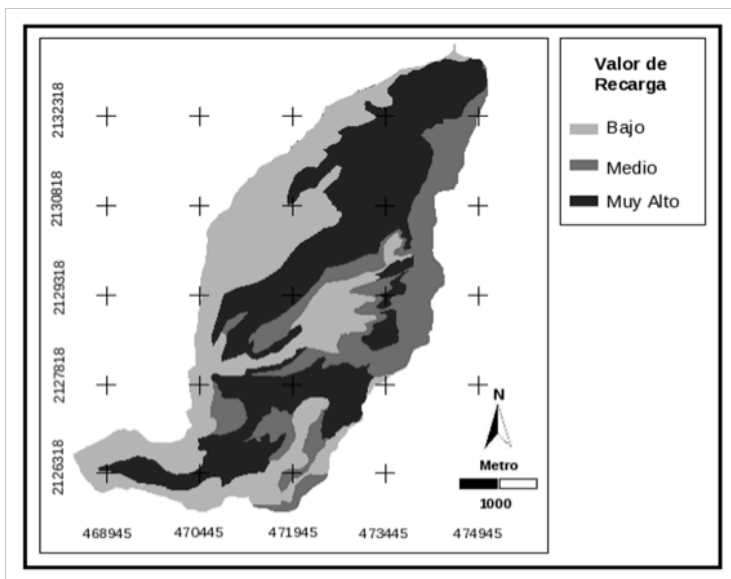
ción territorial. Los principales resultados obtenidos durante este proceso se exponen a continuación, siguiendo la lógica interna de la ecuación de riesgo, así como el orden en que se emplearon las capas de información para lograr el objetivo.

Áreas ecológicamente sensibles por su valor hidrológico

Dentro de la cuenca del Río Eslava las áreas con distinto potencial de recarga de acuíferos se distribuyen como se muestra en la figura 2 y contemplan tres categorías, a saber: muy alto, medio y bajo, las cuales se describen en seguida.

Muy alto. Las áreas de muy alta recarga se distribuyen a lo largo del centro de la cuenca, ocupando una superficie de 999.84 ha o bien, 41.46% del total de la superficie de la cuenca. En la parte media y alta de la cuenca se encuentra la mayor parte de estas zonas (838.35 ha), las cuales afortunadamente están bien protegidas por los bosques de *Abies religiosa* y de pino, situación que sería deseable mantener. No obstante, es importante hacer notar que 16% de la superficie de esta categoría (161.49 ha) se encuentra ya ocupada por el uso urbano, lo cual alerta sobre la necesidad de prevenir el avance sobre estas zonas con una política de gestión territorial que compita económicamente con el valor del suelo urbano. Sobre todo considerando que estas áreas colindan de momento con un uso de suelo agrícola.

Figura 2. AES por valor hidrológico



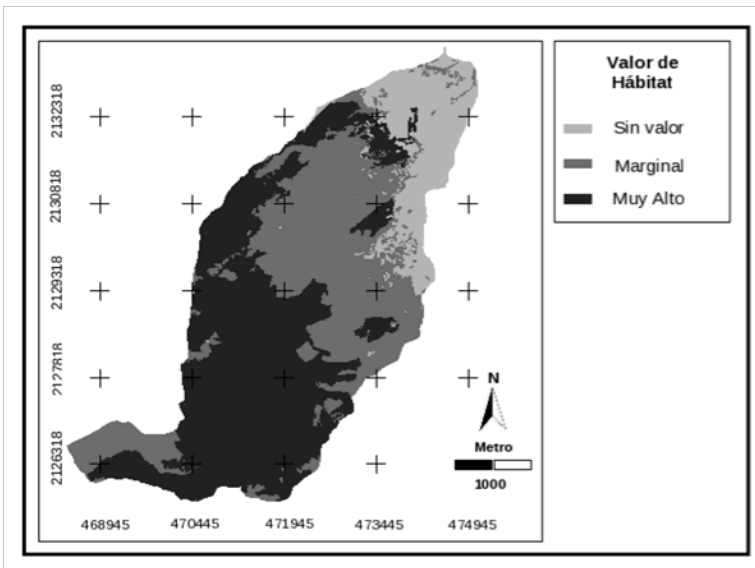
Media. De las 513 ha que ocupa esta categoría, 32% (164.16 ha) se encuentra en bosque de *Abies religiosa* y 39% (200.07 ha) está distribuida principalmente en los bosques de *Pinus teocote-Montezumae* y *Pinus-Quercus*. Sin embargo, un importante porcentaje, 29% (148.77 ha), se encuentra en áreas donde el avance y los impactos del crecimiento urbano son inminentes. Esta situación es preocupante, ya que la impermeabilización del suelo, causada por la urbanización, afecta el llamado efecto esponja de los suelos, interrumpiendo con ello la captación natural del agua y la recarga de los mantos acuíferos, al mismo tiempo que favorece el aumento de los ciclos de inundaciones. Amén de que estas zonas están muy cercanas al cauce del río y la urbanización contribuye a su contaminación por basura y aguas negras. En consecuencia, estas áreas precisan de una política de gestión que permita, al menos, enmendar el ecosistema.

Baja. De las 898 ha que se encuentran dentro de esta categoría, 523 ha se encuentran en el bosque de *Abies religiosa* (58%), 95.39 ha (10%) en suelo de agricultura, y las hectáreas restantes se encuentran distribuidas en los bosques de *Quercus* y *Pinus* y pastizales. En general, son poco sensibles desde este punto de vista.

Áreas ecológicamente sensibles por su valor de hábitat

Las AES por valor de hábitat en la cuenca del Río Eslava se distribuyen espacialmente como se muestra en la figura 3 y de acuerdo a cada una de las siguientes categorías: muy alto, marginal o medio y bajo. Estas categorías se discuten a continuación.

Figura 3. AES por su valor de hábitat



Muy alto. Dentro de la cuenca del Río Eslava las áreas con muy alto valor de hábitat ocupan 48.87% de la superficie de la cuenca, lo que equivale a 1178.46 ha. Si bien, esta categoría se distribuye sólo en tres parches, éstos son los que poseen una mayor área interna, son los más extensos y mejor conectados entre sí. Esto los hace valiosos ya que favorecen en general la calidad de hábitat para las especies que viven ahí, pero particularmente para las especies que presentan estrategias de tipo K, pues requieren de hábitats homogéneos y con una extensión considerable (Fontúbel, 2004). Tal es el caso de los mamíferos y aves que habitan en la zona de estudio, como por ejemplo la ardilla de Peter (*Sciurus oculatus Peters*), la musaraña orejillas mínima (*Criptotis parva soricina Merriam*), el búho cornudo (*Bubo virginianus mayensis*) y el reyezuelo de rojo de Guadalupe (*Regulus caléndula obscurus*), los cuales además de ser especies endémicas, pertenecen a alguna de las categorías de la NOM-059-ECOL-2001 (Peña, 2008, en SMADE, 2008).

Fundamentalmente, estos parches de vegetación se encuentran en la parte alta de la cuenca en el bosque de *Abies religiosa*, cuya riqueza florística está integrada por 28 familias, 52 géneros y 65 especies (Roldán *et al.*, 2008, en SMADE, 2008). Esta riqueza florística, así como la variación climática promovida por el rango de pendientes donde se distribuye (3 al 70% para esta cuenca), le confieren a estos parches un alto potencial para el mantenimiento de diversas especies de fauna (Schwartz *et al.*, 2000).

Otras 124 ha de este tipo de parche con muy alto valor de hábitat se encuentran en la parte baja de la cuenca, y corresponde a una zona agrícola. Estos parches son importantes, ya que es sabido que este tipo de cobertura de suelo enriquece la matriz del paisaje, favoreciendo con ello el mantenimiento a largo plazo de la fauna, ya que permite el movimiento de las especies. Asimismo, en estos sitios se pueden encontrar recursos valiosos para las especies como agua, alimento y lugares de descanso (Schwartz *et al.*, 2000). De aquí la importancia de considerar una política de gestión territorial que favorezca su preservación.

Medio o marginal. Esta categoría ocupa 36.85% (888.62 ha) de la superficie de la cuenca y se concentra principalmente en la parte media. Esta clase está compuesta por 79 parches de vegetación que, a pesar de que el análisis de fragmentación y área interna demostró que están altamente fragmentados y poseen un alto efecto de borde, pertenecen a sitios boscosos. Por lo tanto, son sitios que aunque puedan ser reducidos en tamaño, pueden albergar una alta diversidad de especies por unidad de área (Saunders *et al.*, 1991). Por ello, es importante impulsar una política de gestión que permita recuperarlos.

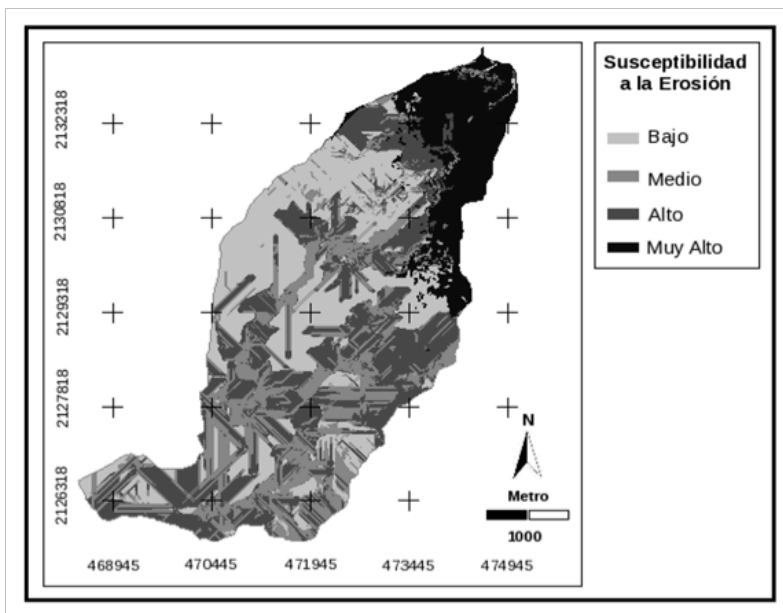
Bajo. Las áreas clasificadas como de bajo valor de hábitat corresponden principalmente a zonas en donde la vegetación natural se ha eliminado, producto del establecimiento de zonas urbanas; esto modifica la composición florística, pues se favorecen especies ruderales y zonas con claros con suelo desnudo. En total son 44 parches que ocupan una superficie aproximada de 344.37 ha, equivalentes a 14% del área de la cuenca. Si bien buena parte de estas áreas corresponden a uso de suelo urbano, es importante tener en mente que no son áreas aisladas y que ejercen fuerte presión sobre la vegetación que las rodea. Por lo tanto, es importante vigilar y controlar su expansión a través de políticas de gestión del territorio que busquen la integración de los asentamientos humanos al paisaje con el mínimo impacto posible. Por ejemplo, fomentando prácticas de reforestación con base en una paleta de vegetación compuesta por especies nativas, y que sean atractivas para la fauna silvestre, especialmente aves.

Áreas ecológicamente sensibles por susceptibilidad a la erosión

Siguiendo los lineamientos de van Zuidam (1985), se identificaron cuatro categorías de las AES por susceptibilidad a la erosión: muy alta, alta, media y baja, las cuales se describen a continuación y se muestran en la figura 4.

Muy alta. Son las áreas que se localizan en las zonas de suelo urbano y ocupan alrededor de 343 ha, equivalentes a 14.23% de la superficie de la cuenca. Son catalogadas así debido a su alta impermeabilidad, la cual favorece de manera más sustantiva la escorrentía superficial. La zona urbana de la región está en constante crecimiento, por lo que resulta de gran importancia que estas áreas se manejen bajo una política de gestión territorial que, por un lado, controle el régimen de perturbación que da lugar a la expansión de superficies impermeables –sobre todo hacia el área de recarga de la cuenca–, y por el otro, que proteja los cuerpos de agua superficiales de los efectos de la urbanización.

Figura 4. AES por su susceptibilidad a la erosión



Alta y Media. En su gran mayoría estas zonas se mezclan espacialmente y se ubican principalmente en la parte media y alta de la cuenca. Ambas categorías se distribuyen en 630 parches, de los cuales 309 pertenecen a la clase de alta susceptibilidad y 321 a la clase de media susceptibilidad a la erosión. Estos sitios ocupan aproximadamente 1 410 ha, lo que equivale a 51% de la superficie de la cuenca. Son terrenos escarpados que carecen de cobertura vegetal y que además registran una alta densidad de drenaje. En conjunto, estas características favorecen tanto la desagregación como la inestabilidad de los suelos. De aquí que se requiera orientar estas zonas hacia una política de ordenamiento que permita recuperar la cubierta vegetal en estas áreas con el fin de prevenir la falta de retención de humedad en los suelos, así como la pérdida de suelos por efectos de la gravedad (Borman y Likens, 1979).

Baja. Las áreas de baja susceptibilidad a la erosión ocupan 657 ha dentro de la zona de estudio. Se concentran principalmente en la cuenca media. En estas zonas se encuentran terrenos con pendientes que van de plana a moderadamente inclinada. La vegetación predominante en la cuenca media es de bosque de *Abies religiosa*. La mayor parte de esta zona también presenta una baja densidad de drenaje, lo que permite inferir que el sustrato es relativamente permeable, reduciéndose de esta manera la escorrentía horizontal.

La baja susceptibilidad a la erosión de esta zona se explica también por el sistema forestal no perturbado que la cubre. Esta cubierta provee una capa permanente de mantillo que protege al suelo de la erosividad de la lluvia y del escurrimiento, dando mayor eficiencia al control de la erosión (Omoró y Nair, 1993). De aquí la importancia de mantener esta configuración de la cubierta vegetal en la zona, a través de una estrategia defensiva de planeación que permita conservar estas zonas en la misma categoría de susceptibilidad.

Vulnerabilidad ecológica de la cuenca

Los valores de la modelación espacial de la vulnerabilidad de la cuenca más altos se observan a lo largo de toda superficie de la cuenca, y esencialmente coinciden con el patrón de las áreas con mayor valor hidrológico (Figura 5). Así, las áreas más vulnerables se encuentran en las zonas con alto potencial de recarga de agua, pero que coinciden con altos valores de hábitat y muy alta susceptibilidad a la erosión.

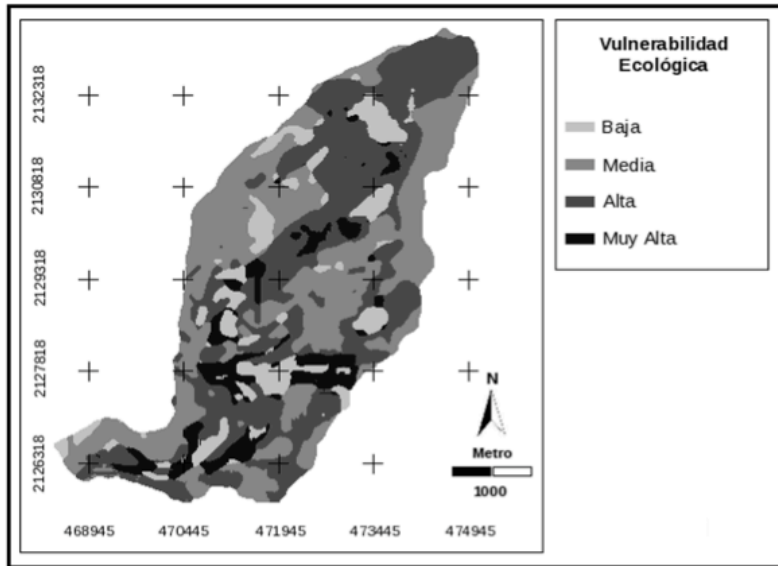
Tabla 1. Distribución porcentual del nivel de vulnerabilidad en la cuenca del Río Eslava

Nivel de vulnerabilidad	Superficie (ha)	Proporción con respecto al área total de la cuenca (%)	Número de polígonos
Bajo	284.98	11.88	45
Medio	940.21	39.2	34
Alto	954.36	39.79	29
Muy alto	219.12	9.14	36

La superficie que se encuentra en los niveles de vulnerabilidad muy alto, alto, medio y bajo se muestra en la tabla 1. Se puede observar que aproximadamente 48% de la cuenca es altamente susceptible ante una perturbación, por lo que los cambios que llegara a experimentar, aunque pudieran ser reversibles, requerirían de mucho tiempo y recursos para revertirlos. En contraste, sólo 284.98 ha que corresponden al 11.8% de la cuenca presentan un nivel de vulnerabilidad bajo, lo que significa que la perturbación externa no cambiaría significativamente el estado actual del sistema en esa zona.

La zona con muy alta vulnerabilidad corresponde a sitios donde se encuentran altos valores de hábitat, muy alta susceptibilidad a la erosión y muy alto valor para la recarga de agua. Las zonas de media y baja vulnerabilidad siguen aproximadamente los valores de media y baja recarga.

Figura 5. Vulnerabilidad ecológica en la cuenca del Río Eslava



El hecho de que aproximadamente 50% de la cuenca se encuentre en un nivel de vulnerabilidad alto y muy alto denota que, al decidir el destino del uso del suelo, están en juego recursos vitales para el buen funcionamiento del ecosistema. También indica que se han presentado fenómenos de impacto severos que son determinantes en las propuestas de ordenamiento, cuya persistencia se debe controlar para poder conservar la integridad de la cuenca. Es este el caso del crecimiento urbano a costa de la cubierta forestal de la cuenca.

Zonificación general

Para definir el destino del territorio de la cuenca se retoman las políticas mencionadas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al

Ambiente (LGEEPA) en su versión de 2011-28-01. De acuerdo con esta ley, en las zonas y unidades de ordenación y manejo pueden implantarse distintos usos de suelo y distintas políticas de gestión. Sin embargo, dado el contexto del ordenamiento que aquí se pretende, se eligió el siguiente conjunto de políticas por considerarlas las más adecuadas desde el punto de vista operativo.

Protección. Está orientada a mejorar el ambiente y controlar su deterioro, e implica preservar los ambientes naturales con características relevantes. Su utilidad es asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos. Asimismo, busca salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres y acuáticas, principalmente las endémicas, las que se encuentran amenazadas o en peligro de extinción.

Preservación. Tiene el propósito de mantener las condiciones que propician la evolución y continuidad de los ecosistemas y hábitats naturales, así como conservar las poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y los componentes de la biodiversidad fuera de sus hábitats naturales.

Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Su propósito es la utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos por periodos indefinidos.

Aprovechamiento sustentable de los ecosistemas. Su propósito es que las actividades de aprovechamiento, que ahí se lleven a cabo, se conduzcan hacia el desarrollo sustentable, creando al mismo tiempo las condiciones necesarias para lograr la conservación de los ecosistemas a largo plazo.

Restauración. Su propósito es la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos

naturales. Las áreas sujetas a esta política son aquellas superficies en las que los recursos naturales han resultado severamente alterados o modificados, y que serán objeto de programas de recuperación y rehabilitación.

Tomando como base los mapas de las AES y vulnerabilidad, se elaboró la zonificación de la cuenca en términos de las políticas arriba descritas. Esta zonificación se resume en términos cuantitativos en la tabla 2, y se acompaña por el mapa de la figura 6, donde se ilustra la distribución espacial de la misma.

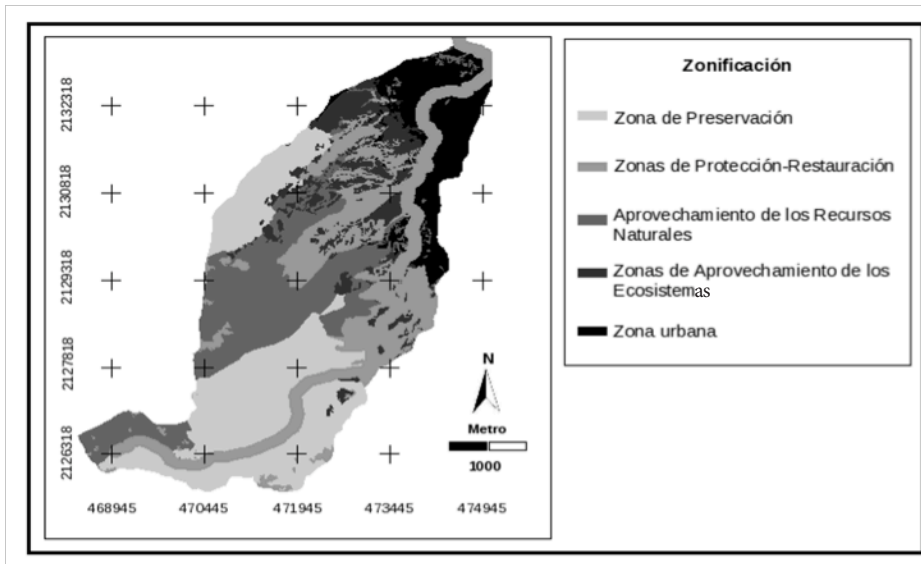
Tabla 2. Superficie y distribución porcentual de las políticas de gestión del territorio

Política de gestión territorial	Superficie (ha)	Superficie (%)
Preservación	703.57	29.09
Protección-Restauración	651.37	26.94
Aprovechamiento sustentable de los recursos	552.76	22.86
Aprovechamiento sustentable de los ecosistemas	243.51	10.07
Urbano	266.53	11.02

Como puede observarse, en la estrategia de desarrollo regional establecida mediante este instrumento de planeación, más de 30% del territorio se propone para aprovechamiento sustentable (22% para aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y 10% para el aprovechamiento de los ecosistemas); la segunda política ecológica en extensión es la preservación, con 29% de la superficie de la cuenca, y la tercera es la de protec-

ción, con 26% del total del área de estudio. A continuación se describe con más detalle cada una de estas zonas.

Figura 6. Zonificación de la cuenca del Río Eslava con base en políticas de gestión ambiental



Zona urbana

En esta política de gestión del territorio se incluyeron áreas que cuentan con infraestructura, equipamiento y servicios. La zona urbana ocupa un poco más de 11% de la superficie de la cuenca (266.53 ha), y se ubica principalmente en la parte norte, donde en otro tiempo hubo bosque de latifoliadas, mixto y, en menor proporción, bosque de coníferas y matorral xerófilo (Roldán *et al.*, 2008, en SMADE, 2008).

Desde el punto de vista de la resiliencia de la cuenca, uno de los problemas que es prioritario atender en esta zona es el de la contaminación del agua en el cauce del Río Eslava (Hevia y Malpica, 2008, en SMADF, 2008). De aquí que sea necesario separar las aguas pluviales de las residuales a través de un sistema de colectores. Asimismo, es necesario tratarlas y darle un valor agregado por medio de su reuso.

Zona de protección

En la política de protección se propone fundamentalmente cuidar las áreas que, a pesar de la fragmentación que han sufrido los bosques, aún mantiene valores de cobertura vegetal considerables. Es decir, aquellos parches de vegetación que tienen un alto valor de hábitat y de recarga, y por ende, un efecto positivo sobre la conservación de la diversidad biológica y la regulación hidrológica.

Asimismo, se sumaron a esta política parches de vegetación que actualmente son pastizales inducidos, pero que están insertos en zonas con muy alto valor de hábitat. La idea es tratar de recuperarlas como cobertura forestal, y con ello, desmotivar la expansión del uso agrícola sobre otras áreas más valiosas desde el punto de vista ecológico, con el fin de no se conviertan en una amenaza para la diversidad del lugar.

En esta categoría también se incluyeron algunas áreas con alta susceptibilidad a la erosión, es decir, frágiles, pero que tienen un alto valor para el mantenimiento del control biológico del material particulado y la exportación de nutrientes. Es el caso de la franja de 100 m que bordea ambos lados del Río Eslava, la cual es necesario mantener libre de asentamientos humanos y reforestada. Esta consideración es de suma importancia, ya que influye en el mantenimiento de la eficiencia hidráulica de la cárcava del río en términos de su conducción de agua, y en la prevención de azolves que potencialmente pueden generar desbordamientos e inundaciones ante tormentas extraordinarias. Una condición

para que esto pueda llevarse a cabo es la recuperación del área federal del Río Eslava.

En las zonas bajo la categoría de protección sólo se permitirán realizar actividades de monitoreo del ambiente y de investigación científica que no impliquen la extracción o el traslado de especímenes ni la modificación del hábitat.

Con el fin de contribuir a la rehabilitación de las zonas degradadas que están incluidas en esta política, se propone implementar, de manera anidada, la política de restauración de estos espacios. Dicha restauración deberá llevarse a cabo con especies nativas de la región, o en su caso, especies compatibles con el funcionamiento y la estructura de los ecosistemas originales.

Zona de preservación

La política de preservación incluye AES con alto valor de hábitat y con bajo riesgo de ser pobladas. Es decir, superficies naturales en buen estado de conservación que poseen parches con suficiente área interna y que están de alguna manera protegidas por la complejidad de la topografía. Esta categoría se ubica en la zona de bosque de *Abies religiosa* de la parte media-alta de la cuenca, e incluyó sólo un parche. La razón de esto es que el bosque de *Abies religiosa* es el que sustenta la actividad de turismo en contacto con la naturaleza en esta cuenca, la cual, en buena medida, ha protegido este bosque del cambio de uso de suelo. Luego entonces, si bien era necesario preservar la cobertura vegetal de la parte alta de la cuenca con fines ecológicos, también se requería prevenir el conflicto entre esta actividad económica y los lineamientos de la política de preservación. De aquí que se eligiera el parche con mayor tamaño y área interna, bajo la consideración de que, al mismo tiempo que se podría proteger el suelo, en este parche las especies tendrían mayor probabilidad de encontrar los recursos necesarios para su continuidad y evolución en el tiempo.

Por otro lado, atendiendo a los lineamientos de la política de preservación, también se incluyó en esta categoría la región noroeste de la parte media de la cuenca, pues existen ahí especímenes de *Furcraea bendinghausii*. Especie importante de preservar ya que además de estar clasificada como amenazada de acuerdo a la NOM-ECOL-0059, es de distribución endémica para el Valle de México (Roldán *et al.*, 2008, en SMADF, 2008).

En esta zona de preservación, que cubre aproximadamente 703.57 ha, sólo se permitirán la investigación científica, el monitoreo del ambiente y las actividades de educación ambiental.

Zona de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales

Esta zona se delimitó como una estrategia para contribuir en la generación de oportunidades para el desarrollo humano a través de mantener actividades productivas que, realizadas sustentablemente, generen beneficios tanto para la población local, como para los ecosistemas.

En el caso que nos ocupa, la zona de aprovechamiento delineada en la parte alta de la cuenca es un área que, por sus características de baja susceptibilidad a la erosión, bajo valor de recarga y bajo valor de hábitat, podría ser aprovechada a través de un manejo forestal no maderable como podría ser el programa de pago por servicios ambientales. Para el caso de la zona de aprovechamiento ubicada en la parte media de la cuenca se eligió esta política con la doble intención de conservar el parque ejidal con sus actividades recreativas de bajo impacto y de preservar los ingresos de los pobladores.

En estas zonas de aprovechamiento, que ocupan 552.76 ha (22% de la superficie), se podrán llevar a cabo la investigación científica, la educación ambiental y el desarrollo de actividades turísticas de bajo impacto ambiental. Asimismo, el aprovechamiento sustentable de la vida silvestre podrá llevarse a cabo siempre y cuando se garantice su

reproducción controlada o se mantengan, o incrementen las poblaciones de las especies aprovechadas y el hábitat del que dependen.

Zona de aprovechamiento sustentable de los ecosistemas

Esta política se empleó para designar aquellas áreas que actualmente tienen un uso agrícola con el fin de proteger el ingreso económico de la región. Sin embargo, se plantea que en estas zonas se realicen actividades agrícolas de baja intensidad y con buenas prácticas, las cuales deberán orientarse hacia la sustentabilidad ambiental. Estas zonas también podrían convertirse en áreas de actividades agroforestales y silvopastoriles, lo cual contribuiría al control de la erosión y a evitar la degradación de los suelos. Esta política ocupa una superficie de 243.51 ha y se encuentra fundamentalmente en la parte media de la cuenca.

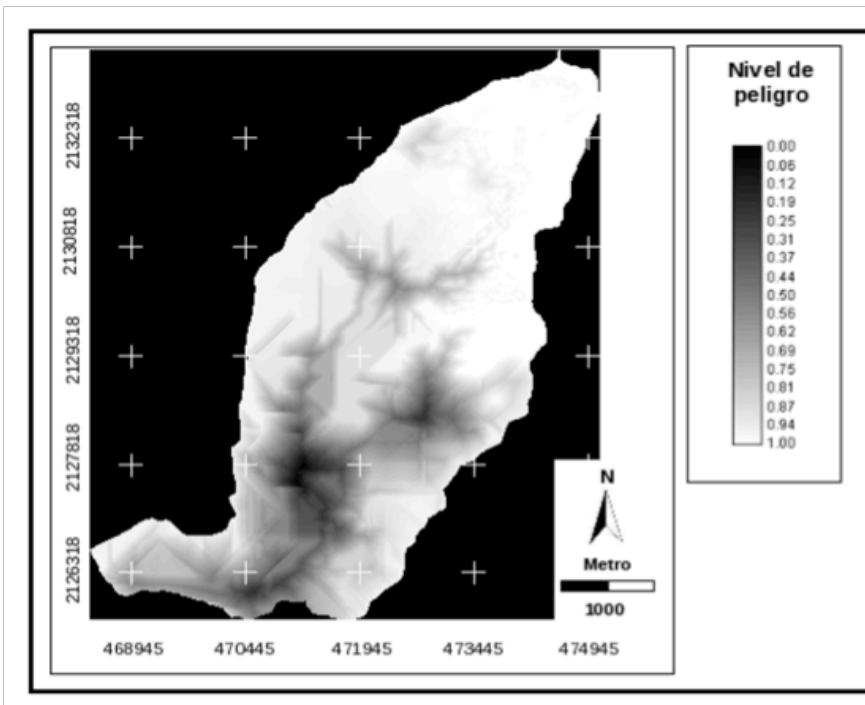
El crecimiento urbano potencial

Como lo ilustra la figura 7, las áreas con mayor peligro urbano se distribuyen primordialmente en la parte media y baja de la cuenca cercanas al principal núcleo de población (Ciudad de México), y donde las pendientes van de moderadamente inclinadas a planas, lo cual favorece los asentamientos. Asimismo, un buen porcentaje de la expansión urbana potencial se extiende sobre áreas con baja densidad de drenaje, lo cual quiere decir que invade zonas con potencial de recarga de acuíferos. Aspecto que es crítico para el mantenimiento a largo plazo de la disponibilidad y calidad del agua en la cuenca.

Por otra parte, las áreas con menor peligro son aquellas que están más alejadas de la ciudad y otras que, sin estar tan alejadas, están más protegidas del avance urbano por la misma topografía. Tal es el caso de la parte alta y media de la cuenca que registran pendientes pronunciadas, lo cual, en teoría, dificulta más los asentamientos humanos. Es lógico

entonces haber encontrado en estas zonas los parches de vegetación con mejor calidad de hábitat, lo cual también pone de manifiesto el fuerte impacto que la urbanización está teniendo sobre el servicio ecosistémico de provisión de hábitat en la cuenca.

Figura 7. Crecimiento urbano potencial



El riesgo ecológico en la cuenca

De la evaluación del índice de riesgo se registran 1101 ha de la cuenca entre las categorías de riesgo muy alto y alto (Figura 8). Esto represen-

ta cerca de 45% de la superficie del territorio bajo estudio, lo cual habla de la fragilidad de la cuenca. Escalando el riesgo a nivel de subcuenca, la superficie que ocupan estas mismas categorías (Tabla 3), coloca a las subcuencas Atzoma, Chocotitla y Eslava como las tres que, en orden descendente, presentan un mayor riesgo ecológico ante la urbanización potencial. Estos resultados indican el nivel de criticidad de estas áreas y, por lo tanto, alertan sobre su prioridad de atención en función de las políticas establecidas en la zonificación.

Figura 8. Riesgo Ecológico

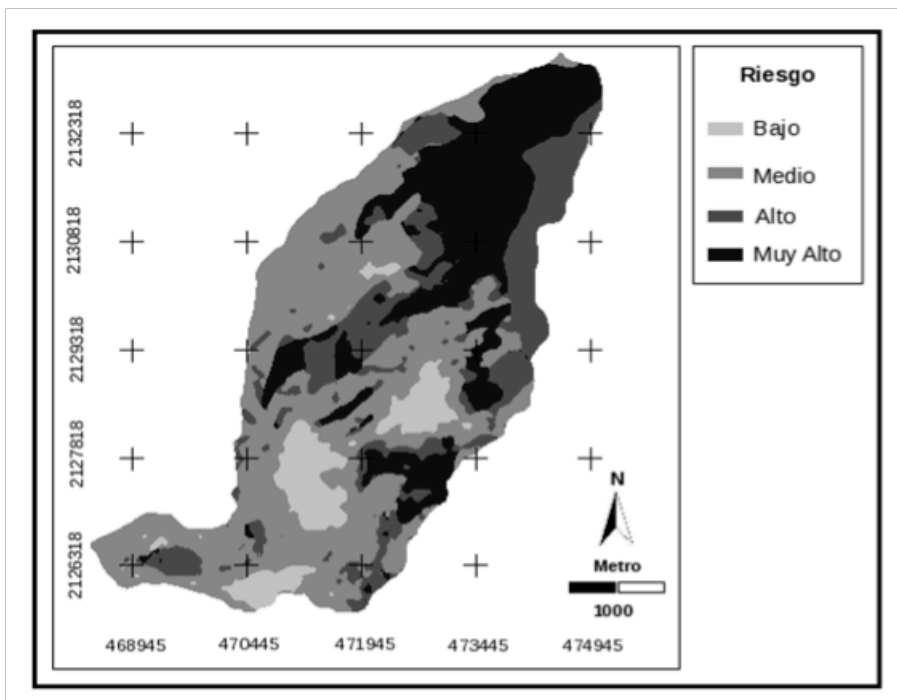


Tabla 3. Nivel de criticidad de las subcuencas en función del riesgo ecológico

Nombre de la subcuenca	Porcentaje de la superficie con categoría de riesgo muy alta	Porcentaje de la superficie con categoría de riesgo alta	Porcentaje acumulado de las categorías muy alta y alta
Atzoma	35.5	31.5	67.0
Xocotitla	46.9	13.8	60.7
Eslava	20.8	28.7	49.5
Chichicaspa	16.7	24.6	41.3
Agua escondida	42.0	10.1	14.3
Chicuatitla	4.8	7.2	12.0

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Para generar estrategias que atiendan los efectos de la variabilidad climática sobre los ecosistemas se requiere, entre otras cosas, de una atenta planeación del uso del suelo que se base en un enfoque adaptativo a largo plazo. Es esta visión a futuro la que justifica que el ordenamiento territorial se enmarque en el contexto del mantenimiento de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas, pues son éstos los que dan sustento a las actividades productivas y, de manera general, a la existencia de los seres vivos.

En este mismo contexto, el ordenamiento territorial debe enfrentar el reto de adecuarse y ser capaz de responder a los retos que implica. Esto es, la naturaleza de los ecosistemas donde se lleva a cabo el ordenamiento (ambientes terrestres, palustres, marinos); las fuentes de información y los datos disponibles; los conflictos derivados por inte-

reses incompatibles, el carácter dinámico del cambio de uso de suelo, entre otros. Sin embargo, un imperativo en la aplicación de estos instrumentos de política ambiental es garantizar resultados efectivos y dejar atrás la idea de que un mismo tipo y enfoque de solución es válida para todos los contextos (Meppen y Gill, 1998). Con base en esta realidad y reconociendo que una visión más completa de los problemas es la que puede derivar en mejores soluciones, en este trabajo se concluye que los enfoques adaptativos para el ordenamiento territorial son imperativos y urgentes, tal como lo señala Wong-González (2010).

En este mismo sentido, el trabajo permitió reconocer que el enfoque de Áreas Ecológicamente Sensibles para la ordenación territorial –a diferencia de los tradicionales implementados en nuestro país– busca, en acuerdo con van Lier (1998), romper con la limitante de una visión reduccionista de la planificación del uso de suelo, al considerar como punto de partida que el desarrollo humano no debe estar divorciado del mantenimiento de los ecosistemas que lo soportan. De ahí el reconocimiento de que los conceptos de valor y fragilidad aplican y son válidos para las dimensiones ecológica, social, cultural y económica. Luego entonces, se puede concluir que el reto consiste en desarrollar la creatividad del planificador para armonizar sus diferentes acepciones en la arena del ordenamiento del territorio, tal y como lo establece Lein (2003).

El diagnóstico desarrollado en este trabajo permitió darnos cuenta que los criterios propuestos por la escuela austriaca fueron de gran utilidad para proponer las políticas ambientales a seguir en la cuenca. Así, el criterio de valor de hábitat fue clave en la identificación de áreas que deben orientarse a la política de preservación. La combinación del valor hidrológico y el riesgo a la erosión fueron determinantes para la ubicación espacial de la política de protección y restauración. En el caso de la política de aprovechamiento, su delimitación fue posible a partir del uso actual del suelo, mientras que los modelos de sensibilidad a la erosión y vulnerabilidad ecológica fueron determinantes para delimi-

tar la política de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. De esto se concluye que, las AES es un concepto fácil de incorporar a las políticas de ordenamiento ecológico vigentes en nuestro país. Su utilidad también se confirma en otros contextos latinoamericanos, como lo ilustran el Programa Nacional de Ordenamiento Territorial de Nicaragua (Ineter-Marena, 2003) y el Plan Nacional de Ordenamiento Territorial de la República del Salvador (MARN-VMVDU, 2004).

Un bono adicional del criterio de riesgo fue la posibilidad de modelar, de manera tangible, el concepto de fragilidad ambiental vista como el producto de la vulnerabilidad y el peligro potencial ante el crecimiento urbano. Aunado a esto, la modelación de las áreas de riesgo permitió dividir la cuenca en zonas con distinta prioridad de atención. Asimismo, el modelo espacial de riesgo, ligado a la división por subcuencas, posibilitó la jerarquización de estos subsistemas, en términos de criticidad. Esto permitirá a los tomadores de decisiones priorizar espacios de atención y destinos de aplicación de recursos. En este sentido, se concluye que las subcuencas: Eslava (1), Chichicaspa (2) y Atzoma (3) son las que presentan un mayor riesgo ante la urbanización potencial.

Cabe hacer notar que la ubicación espacial de las políticas de gestión respondió adecuadamente a los objetivos del ordenamiento, lo cual habla a favor de la potencialidad del enfoque de AES en el ordenamiento territorial.

Por último, es importante establecer que el camino para conducir a la cuenca del Río Eslava hacia una condición que mejore su resiliencia no termina con el ordenamiento de la cuenca. Es necesario continuar el trabajo desarrollado con un plan de manejo con el fin de hacer operativas las políticas de gestión. También será necesario trabajar en el diseño de indicadores que permitan monitorear el estado de la cuenca ante la puesta en práctica de dicho plan.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan su gratitud a los revisores por sus útiles comentarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, L. *et al.*, 2007, "Servicios ecosistémicos en la cuenca del Río Magdalena, Distrito Federal, México", en *Gaceta Ecológica*, número especial (84-85): 53-84
- Baja, S. *et al.*, 2002, "A conceptual model for defining and assessing land management units using a fuzzy modeling approach in GIS environment", en *Environmental Management* 29: 647-661
- Bormann, F. *et al.* 1979, *Pattern and Process in a Forested Ecosystem*, Springer, Nueva York.
- BMLFUW, CIRCA, 2000, *Criteria catalogue for ecologically particularly sensitive areas*, Federal Ministry of Environment, Youth and Family Affairs, Stadland, Viena.
- Campos-Aranda, D. F., 1987, *Procesos del Ciclo Hidrológico*, 1ª reimpresión, vol. 1, tomo 1, Universidad de San Luis Potosí, México.
- Campos, M. *et al.*, 2010, "Defining environmental management units based upon integrated socio-economic and biophysical indicators at the Pacific Coast of México", en *Interciencia* 35 (1): 33-40
- Chávez, J., 2004, *Planning to achieve sustainability: Iztaccíhuatl-Popocatepetl region, México, case study*, tesis de Doctorado en Planeación Regional y del Desarrollo, Faculty of Social and Environmental Sciences, The University of Liverpool, Reino Unido.
- Chávez, M. *et al.* 2010, "El valor de las Áreas Ecológicamente Sensibles en el Ordenamiento Territorial", en *Contactos* 77: 56-64.
- De Groot, R. *et al.*, 2002, "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services", en *Ecological Economics* 41: 393-408.

- Eastman, R., 1999, "Multicriteria Evaluation and GIS", en Longley, P. *et al.*, (eds.), *Geographical information systems 2*, UNITAR, Nueva York.
- Fernández, A. *et al.*, 2002, "Evaluación del avance de la mancha urbana sobre el Área Natural Protegida de la Cañada de los Dinamos", en *Gaceta Ecológica* 62: 56-67.
- Fontúbel, E., 2004, "Conservación de ecosistemas: un nuevo paradigma para la conservación de la biodiversidad", en *Ciencia Abierta* 23: 1-15.
- García, L., 2010, *Ordenamiento territorial de la subcuenca del Río Pixquiatic, Ver., a partir de la identificación de Áreas Ecológicamente Sensibles*, tesis de Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.
- Giorgi, F. y X. Bi, 2005, "Updated regional precipitation and temperature changes for the 21st century from ensembles of recent AOGCM simulations", en *Geophys. Res. Lett.* 32, L21715, doi: 10.1029/2005GL024288.
- Hewitt, K., 1977, *Regions of Risk. A geographical introduction to disasters*, Longman, Reino Unido.
- INEGI, 2008a, Imagen cartográfica digital, Carta topográfica imagen digital, Escala 1:250 000
- INEGI, 2008b, Proyecto hidrología superficial, Serie I. Cartografía digital, Escala 1:250 000.
- Moreno, A. y J. Urbina, 2008, *Impactos sociales del cambio climático en México*, INE-PNUD, México.
- Ineter-Marena, 2003, *Programa Nacional de Ordenamiento Territorial de la República de Nicaragua*, Instituto Nacional de Estudios del Territorio y Ministerio del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, Nicaragua.
- Lein, K., 2003, *Integrated environmental planning*, Blackwell Publishing, Reino Unido.
- MARN-VMVDU, 2004, *Plan Nacional de Ordenamiento y Desarrollo Territorial: Documento de síntesis*, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y Viceministerio de Vivienda y Desarrollo Urbano del Gobierno del Salvador, El Salvador.

- McGarigal, K. y J. Barbara, 1995, *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Gen Tech. Rep. PNW-GTR-351, Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland.
- Martínez, P. et al., 2010, "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos", en Jiménez, B., Torregosa, L. y Aboites, L. (eds.), *El Agua en México: cauces y encauces*, Conagua-Academia Mexicana de Ciencias, México.
- Meppen, T. y R. Gill, 1998, "Planning for sustainability as a learning concept", en *Ecological Economics* 26: 121-137.
- Millenium Ecosystems Assessment, 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington, D. C.
- Miller, F. et al., 2010, "Resilience and Vulnerability: Complementary or Conflicting Concepts?", en *Ecology and Society*, vol. 15, núm. 3: 11, disponible en <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art11/>, consultado el 10/04/2011.
- Omoro, M. y K. Nair, 1993, "Effects of Munch with multipurpose tree prunings on soil and water runoff under semiarid conditions in Kenia", en *Agroforestry* 22: 2.
- Priyantha, S. et al., 2006, "Effects of climate and land use changes on groundwater resources in coastal aquifers", en *Journal of Environmental Management* 8(1): 25-35.
- Recalde, J., y R. Zapata, 2007, *La Ordenación del Territorio. Instrumento en la gestión de los Recursos Naturales*, INTA EEA, La Rioja, España.
- Sánchez, O., 2000, "La zonificación ecológica del territorio: una estrategia central para la identificación, selección y ordenamiento de áreas protegidas" (inédito), Laboratorio de Estudios Ecogeográficos, Depto. de Sistemas Naturales y Ambiente, FCH-FCE/Universidad Nacional de Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Sánchez, O., 1991, "Bases para o Ordenamento Ecológico-Paisagístico do Meio Rural e Forestal", Fundación de Pesquisas Cândido Rondón, Cuiabá- MT, Brasil.

- Saunders, A. *et al.*, 1991, "Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review", en *Conservation Biology* 5: 18-32.
- Schwartz, W. *et al.*, 2000, "Linking biodiversity to ecosystem function: implications for conservation ecology", en *Oecologia* 122: 297-305.
- SMADF, 2008, *Plan Maestro de Manejo Integral y Aprovechamiento Sustentable de la Cuenca del Río Eslava*, SMADF-UAMX, México.
- Tapia, G., y J. López, 2001, "Mapeo geomorfológico analítico de la porción central de la Cuenca de México: unidades morfogénicas escala 1:100", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 9(1): 50-65.
- Van Lier, N., 1998, "Sustainable Land Use Planning. An editorial commentary", en *Landscape and Urban Planning* 41: 83-91.
- Van Zuidam, R., 1985, *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping*, Smits Publishers, The Hague, Netherlands.
- Walker, B. *et al.*, 2004, "Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems", en *Ecology and Society* 9 (2): 5.
- Wong-González, P., 2010, "Ordenamiento ecológico y ordenamiento territorial: retos para la gestión del desarrollo regional sustentable en el siglo XXI", en *Estudios Sociales* (núm. especial) 17: 10-39.