

Metodología rápida para la evaluación de ecosistemas riparios en zonas templadas

Hugo Zepeda Castro
Alberto F. Gómez-Tagle Rojas
Yolanda Chávez Huerta

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México

Alvin L. Medina

Estación Experimental Forestal y de Manejo de las Montañas Rocallosas, Estados Unidos

Se diseñó y probó una metodología sencilla y rápida para evaluar de manera integral la funcionalidad de los ecosistemas riparios, basada en indicadores contruidos a partir de los componentes estructurales de dichos ecosistemas. Como estudio de caso se presentan los resultados de la evaluación del arroyo Tiquio, perteneciente a la cuenca del lago de Cuitzeo, en Michoacán, México. Esta metodología se aplicó en 48 sitios de diagnóstico. Los resultados indican que este arroyo presenta una notable variación espacial en cuanto a su condición ecológica actual, habiendo en él áreas muy degradadas en las partes alta y baja, así como porciones bien conservadas en la parte media, que se expresan en términos cuantitativos con una escala de 0 a 10 de acuerdo con el sistema de diagnóstico empleado. Se concluye que el método que se utilizó tiene la suficiente sensibilidad como para detectar diferencias espaciales de la condición ecológica de los arroyos, por lo que es una herramienta útil para el diagnóstico y monitoreo de las redes fluviales y sus cuencas, lo cual puede tener impacto en políticas y acciones de conservación y manejo.

Palabras clave: ecosistemas ribereños, evaluación rápida en cuencas, arroyos de montaña, indicadores ecológicos.

Introducción

Las áreas o ecosistemas riparios son aquellos que se encuentran en la orilla de un cuerpo de agua (Lowe, 1961, en Solís-Garza *et al.*, 1993). En los ríos y arroyos incluyen tanto el ecosistema acuático como el ecotono hacia el ecosistema terrestre que lo rodea y es perfectamente diferenciable por la estructura característica de áreas de alta humedad constante (DeBano y Schmidt, 1989). Se reconocen como ecosistemas únicos que presentan alta sensibilidad a la degradación y son el reflejo de los procesos que ocurren en la cuenca que los rodea (DeBano y Schmidt, 1989), de tal manera que permiten identificar de forma rápida y confiable el estado de salud de la cuenca o de las partes que la componen.

En los últimos años, el manejo para proteger estos ecosistemas ha recibido la atención de científicos y

agencias gubernamentales en todo el mundo debido a que juegan un papel determinante: como fuentes de agua de alta calidad, como refugio y fuente de germoplasma de una gran diversidad de especies de importante valor comercial y ecológico, como fuente de energía para el ecosistema acuático y como zonas de amortiguamiento de los efectos del escurrimiento superficial durante las precipitaciones pluviales, evitando grandes avenidas que ocasionan inundaciones en las partes bajas (DeBano y Schmidt, 1989; Fitzjohn *et al.*, 1998).

En México, por desconocimiento, los estudios ecológicos sobre áreas riparias son muy escasos y se han basado en métodos detallados que requieren de mucho tiempo para obtener resultados confiables, esto plantea la necesidad de desarrollar metodologías que permitan lograr resultados en corto tiempo.

Diversos autores han probado algunas herramientas de diagnóstico rápido: Ohmart (1996) evaluó la

condición ecológica del río Gila (Nuevo México, Estados Unidos), con base en el tipo de especies vegetales y su relación con algunas características morfológicas de los cauces. Bevenger y King (1995) propusieron utilizar la distribución del tamaño de partícula del lecho del cauce como indicador de la salud de su cuenca. Estos autores discuten que los cauces con mayor porcentaje de partículas finas (arenas finas, limos y arcillas) presentan mayor degradación que aquellos con predominancia de partícula gruesa (gravas y guijarros). Sims *et al.* (1996) probaron esta metodología en arroyos del Bosque Nacional Santa Fe (Estados Unidos). Sus resultados coinciden con lo propuesto por Bevenger y King, y concluyen que es una herramienta poderosa para hacer evaluación y monitoreo de disturbios y condiciones ecológicas de las cuencas. Medina (1996) relaciona la composición y abundancia de las especies riparias nativas con la condición ecológica de estas áreas en el sureste de los Estados Unidos. Discute que el origen de su degradación está en la pérdida de flora acuática nativa y proporciona una lista de especies registradas en áreas cercanas a las condiciones prístinas, proponiendo evaluar la condición ecológica de otras áreas de la región con base en la abundancia de dichas especies.

Estas herramientas metodológicas se basan en la interpretación de condiciones ecológicas a partir de la evaluación de un solo componente estructural del ecosistema, argumentando que es el resultado de la interacción de otros, pero es difícil conocer cuáles componentes están siendo degradados y en qué proporción. Como alternativa, Medina, Baker y Neary (1996) desarrollaron un concepto de evaluación integral basado en indicadores estructurales del ecosistema. Se denomina Proceso Funcional Deseable (DFP) y sus resultados pueden evidenciar si el ecosistema es funcional (si hay procesos que indiquen equilibrio entre sus componentes) o si está en proceso de degradación (si estos procesos son el resultado de un desequilibrio), sin importar la etapa de sucesión en la que se encuentre. Este método de evaluación está en fase cualitativa.

En el presente trabajo se propone un método alternativo que amplía el espectro de los resultados y permite obtener grados de estabilidad en términos cuantitativos. Se parte de la premisa de que la funcionalidad es una propiedad que en el ecosistema hace más eficiente la interacción de los componentes estructurales, por ello los procesos de degradación de un ecosistema pueden detectarse mediante la interpretación de las características de dichos componentes si se analizan de manera integrada. Estos procesos pueden ser detectados en el campo, a través de la evaluación de algunos parámetros de la vegetación, suelo, agua,

morfología del cauce y los disturbios. Todos ellos son indicadores de los procesos que están ocurriendo en el ecosistema y nos permiten interpretar si se mantiene estable o si lo están conduciendo a la degradación.

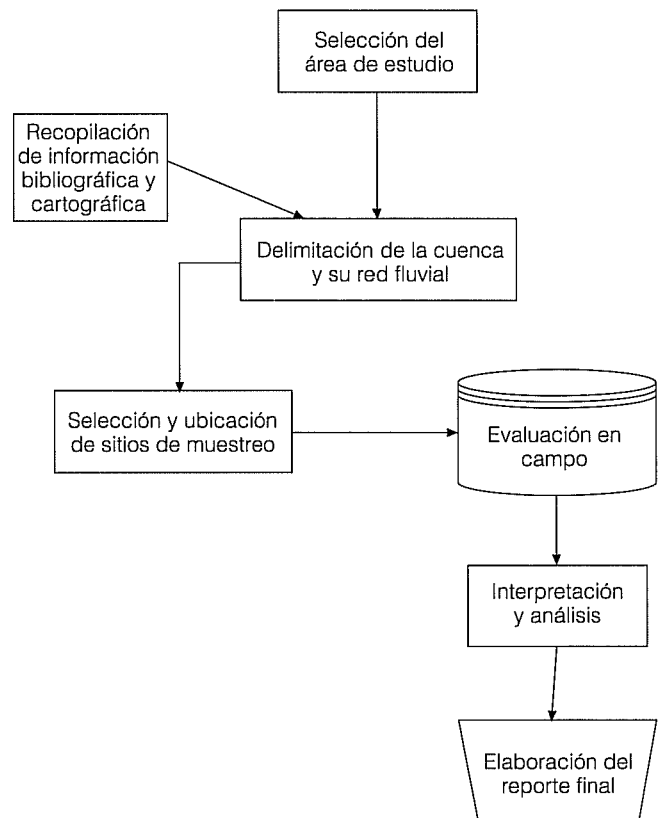
Este método aplica una escala cuantitativa a la funcionalidad de los componentes estructurales, asignando valores de 0 a 10 a cada indicador, así se obtiene un valor cuantitativo, susceptible de análisis para entender diferencias espaciales o temporales en el estado de salud de los arroyos y sus componentes. Finalmente, se podrán tomar decisiones más adecuadas para su manejo.

El método se ha probado en varios arroyos de bajo orden de la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán, México, de los cuales se presenta un ejemplo.

Procedimiento metodológico

El proceso metodológico que se llevó a cabo para obtener el diagnóstico se esquematiza en la ilustración 1 y se discute a continuación.

Ilustración 1. Diagrama de flujo que muestra la secuencia metodológica para el diagnóstico rápido del estado de conservación de áreas riparias.



Con la ayuda de cartas topográficas del Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI), en escala 1:50,000, aerofotos verticales y verificaciones de campo se delimitaron la cuenca de interés y su red fluvial. Los sitios de muestreo se ubicaron en los tramos que presentaron cambios notables en vegetación, uso del suelo en la ribera, forma del cauce, materiales del lecho, grado de erosión, pendiente, sinuosidad y pedregosidad del cauce. Este sistema de muestreo permite considerar la mayor parte de las variaciones en la estructura espacial del ecosistema ribereño, con lo cual se logran obtener relaciones más directas entre las características de los arroyos y algunas zonas de la cuenca. En cada sitio se estimaron los parámetros indicados en el formato anexo y se anotó el valor correspondiente a la condición observada. Estos criterios se describen enseguida.

Vegetación

Presencia de especies típicas de áreas riparias e indicadoras de humedad

En los sitios conservados hay presencia dominante de especies típicas de ribera (Medina, 1996) (algunos representantes de *Salicaceae*, *Betulaceae*, *Typhaceae*, *Cyperaceae* y *Juncaceae*), las cuales dependen de la alta humedad continua que caracteriza a estas áreas (Madrigal-Sánchez, 1998, com. per.). En aquellos sitios en proceso de degradación, tales especies son sustituidas por elementos de las familias *Gramineae*, *Leguminosae*, *Labiatae* y *Compositae*, principalmente, que son menos exigentes en este recurso.

Para asignarle el valor correspondiente a este indicador, se estima el porcentaje de dominancia de especies indicadoras, con base en la escala de dominancias de Braun-Blanquet (1979) (cuadro 1).

Cobertura de los estratos arbustivo y arbóreo

Es importante la cobertura de estos dos estratos de la vegetación, ya que al interceptar las gotas de lluvia evitan la erosión del suelo por goteo y, con ello, el aporte de sedimentos a la corriente de agua (FAO-PNUMA, 1980). Se evalúa por intervalos de cobertura (cuadro 2).

Estructura vertical de la vegetación

Es importante que se presenten varios niveles o estratos, ya que esto aumenta la eficiencia en la interceptación de la lluvia y disminuye el riesgo de erosión (Henaar, 1988), e incrementa las posibilidades de hábitat para la fauna silvestre. Debido a que todos los estratos

Cuadro 1. Escala de dominancias de Braun-Blanquet (1979).

Porcentaje de dominancia de especies indicadoras	Valor correspondiente
80-100	10
60-80	8
40-60	6
20-40	4
1-20	2
0-1	0

Cuadro 2. Cobertura de los estratos arbustivo y arbóreo.

Porcentaje de cobertura		
Valor correspondiente	Leñosas con sotobosque	Leñosas sin sotobosque
0-1	0	0
1.0-20	2	2
20-40	4	3
40-60	6	5
60-80	8	7
80-100	10	8

Cuadro 3. Estructura vertical de la vegetación.

Estrato	Valor parcial			
Rasante	Presente	2	Ausente	0
Herbáceo	Presente	2	Ausente	0
Arbustivo	Presente	2	Ausente	0
Arbóreo bajo	Presente	2	Ausente	0
Arbóreo alto	Presente	2	Ausente	0
Valor total del indicador				

tienen la misma importancia, se les asigna el mismo valor parcial, que sumado es igual al valor del indicador para cada caso (cuadro 3).

Cobertura de los bancos del arroyo por las plantas del estrato herbáceo y rasante

La cobertura vegetal de los bancos de ribera es determinante para la estabilidad de los mismos, debido a que lo protegen de la erosión por el flujo de agua durante las crecidas, evitando la remoción de los materiales que lo componen, en los cuales se almacena gran cantidad del agua necesaria para mantener el flujo permanente (Medina, 1996; Rosgen, 1996). La más alta cobertura vegetal se presenta en los sitios mejor

Cuadro 4. Cobertura de los bancos del arroyo por las plantas del estrato herbáceo y rasante.

Porcentaje de cobertura	Valor correspondiente
80-100	10
60-80	8
40-60	6
20-40	4
1-20	2
0-1	0

Cuadro 5. Vigor de las plantas.

Porcentaje de plantas vigorosas	Valor correspondiente
80-100	10
60-80	8
40-60	6
20-40	4
1-20	2
0-1	0

conservados, por lo tanto, el valor del indicador está dado por el porcentaje de cobertura (cuadro 4).

Vigor de las plantas

El crecimiento vigoroso de las plantas es indicador de la alta productividad que caracteriza a estas zonas y en la medida en que disminuya también cambiará la protección al suelo (Medina, 1996) (cuadro 5).

Agua y morfología

Tipo morfológico de cauce

Rosgen (1994) propone un sistema de clasificación basado en la agrupación de los cauces por su similitud en la pendiente, el material del lecho, la sinuosidad, la relación anchura-profundidad y el grado de atrincheramiento del cauce. De esta manera describe ocho "tipos morfológicos de cauce" principales (A, B, C, D, E, F, G y DA), los cuales, en condiciones naturales (sin disturbio), se desarrollan típicamente en diferente geoforma, materiales, posición fisiográfica y pendiente general del terreno. Por ejemplo, los arroyos de tipo A son rectos, estrechos, profundos, confinados y atrincherados; se localizan en áreas con fuerte pendiente ($>$ al 4%), con disección bien delimitada, con fondo en forma de "V", sobre lecho rocoso o en materiales coluviales. Contrasta con los arroyos de tipo C,

Cuadro 6.

Confinamiento	
Pendiente	
Sinuosidad	
Si corresponde = 10	No corresponde = 0
Promedio	

donde el cauce es ancho, poco profundo, con meandros y con una planicie de inundación bien desarrollada; se desarrollan en valles aluviales muy amplios y con baja pendiente ($<$ al 2%). Los arroyos de tipo E tienen meandros y un cauce estrecho y profundo (baja relación anchura-profundidad), son comunes en valles aluviales amplios (con menos del 2% de pendiente), propicios para la formación de grandes planicies de inundación. Los de tipo F son cauces anchos y someros, se ubican en terrenos aluviales con bajo gradiente, pero son sinuosos y atrincherados, con planicie de inundación poco desarrollada o inexistente. Finalmente, los de tipo G son cárcavas atrincheradas, con baja relación anchura-profundidad, poco sinuosos y sin planicie de inundación; son más comunes en valles estrechos o profundamente enclavados en valles coluviales o aluviales con materiales inestables. Cuando ocurren disturbios con la erosión acelerada de los bancos de ribera, el cauce se amplía o pierde profundidad por la excesiva acumulación de sedimentos, modificando su forma original ("potencial"). Por esta razón se usó como indicador de conservación la correspondencia entre la forma de cada sección de cauce evaluada y las características del terreno (pendiente, geoforma y posición fisiográfica). Se busca la correspondencia en las tres variables morfométricas principales que determinan el tipo de cauce. El promedio de los tres valores es el valor del indicador (cuadro 6).

Estabilidad del cauce

Los arroyos estables, además de mantener su dimensión (relación anchura-profundidad), modelo longitudinal y forma transversal, deben ser capaces de transportar los sedimentos que se generan por la erosión normal de la cuenca y el cauce. La erosión de los bancos de ribera o el depósito excesivo de sedimentos de cualquier tipo y tamaño en el lecho del cauce están relacionados con procesos de degradación del ecosistema ribereño, que tienen que ver con cambios en el régimen de flujo, reducción en la capacidad para transportar sedimentos, altas tasas de erosión de los bancos o derrumbes por el pisoteo del ganado (Beverger y King, 1995; Rosgen, 1996). Estos procesos

Cuadro 7. Estabilidad del cauce.

Porcentaje del cauce afectado	Valor correspondiente
80-100	0
60-80	2
40-60	4
20-40	6
1-20	8
0-1	10

afectan la cubierta vegetal protectora y la composición de especies, elevan el lecho del cauce reduciendo su profundidad, el flujo se vuelve espacialmente intermitente, disminuyendo el hábitat para la fauna acuática (Medina *et al.*, 1996; Rosgen, 1996). Del grado de afectación dependerán los efectos secundarios, por lo tanto, el valor resultante está determinado por ese porcentaje (cuadro 7).

Régimen de flujo del agua

Actualmente se reconocen tres categorías generales del régimen de flujo en cauces: perenne, intermitente y efímero. Rosgen (1996) describe ocho categorías específicas que tienen que ver con la fuente de agua: derretimiento de nieve (variación estacional); lluvia (variación estacional); manantiales (uniforme); derretimiento de glaciares; flujo o torrentes de hielo; alternancia entre flujo y estancamiento debido a la influencia de las mareas; flujo regulado (por centros recreativos, liberación en presas, desagües, etcétera), y flujo alterado debido al desarrollo humano (como canalización). Discute que los cauces ubicados en la misma zona geográfica y con la misma fuente de agua deben tener el mismo régimen de flujo si éstos corresponden al mismo tipo morfológico. Es claro que en las zonas templadas del centro de México, el agua que fluye por los arroyos de montaña proviene de las tormentas y los manantiales, por lo tanto es de esperarse que si corresponden al mismo tipo morfológico presenten el mismo régimen de flujo. Por otra parte, está bien documentado el proceso de "efimerización" de arroyos debido a la degradación de sus áreas riparias (Kaufmann y Krueger, 1984; Thomas *et al.*, 1979 en Shaw y Clary, 1996), así como el restablecimiento del flujo continuo ("perennización"), catalizado por la rehabilitación de arroyos muy degradados (Thomas *et al.*, 1979, en Shaw y Clary, 1996). Por esta razón se utiliza como indicador, ya que la experiencia de campo de los autores ha permitido confirmar estos procesos en muchas partes del centro de México, al observar que los arroyos con áreas

Cuadro 8. Régimen de flujo de agua.

Régimen de flujo de agua	Valor correspondiente
Perenne	10
Intermitente	5
Efímero	0

riparias conservadas presentan flujo perenne, mientras que en aquellos con áreas riparias degradadas, el régimen de flujo es intermitente y efímero.

Las tres posibilidades descritas son las que se muestran en el cuadro 8.

Abundancia de elementos de rugosidad (rocas, troncos, ramas muertas y plantas vivas) que permiten disipar la energía del flujo en el cauce

La presencia de derrubios, troncos, ramas y plantas vivas (acuáticas) dentro del cauce ayudan a disipar la energía del flujo, disminuyendo su velocidad y, por lo tanto, su poder erosivo. Estas características son típicas de arroyos con áreas riparias conservadas, ya que en arroyos efímeros se concentra una gran cantidad de agua en un periodo de tiempo muy corto y estos materiales son generalmente arrastrados por la corriente y actúan como agentes erosivos del cauce (Cendrelli y Kite, 1998) (cuadro 9).

Colonización de los depósitos de materiales por las plantas

La colonización de los bancos de materiales por las plantas permite su estabilización y contribuye a la reversión del proceso erosivo de los mismos (Medina, 1996). Las plantas más exitosas en este proceso son las acuáticas, debido a que sus adaptaciones morfológicas y fisiológicas les permiten tolerar estos substratos saturados de agua y carentes de oxígeno en la rizosfera (Hill, 1986). En arroyos degradados, la ausencia de germoplasma de este tipo de plantas retrasa el proceso de colonización de tales sitios. Bajo esta premisa es posible utilizar dicha característica como in-

Cuadro 9. Abundancia de elementos de rugosidad.

Abundancia relativa	Valor correspondiente
Abundante	10
Poco abundante	5
Inexistente	0

Cuadro 10. Colonización de los depósitos de materiales por las plantas.

% del total de depósitos colonizados	Valor correspondiente
80-100	10
60-80	8
40-60	6
20-40	4
1-20	2
0-1	0

Cuadro 11. Evidencias de saturación periódica.

Evidencias de saturación periódica	Valor correspondiente
Sí	10
No	0

Cuadro 12. Evidencias de alta infiltración.

Porcentaje del sitio sin evidencias de escorrentía superficial	Valor correspondiente
80-100	10
60-80	8
40-60	6
20-40	4
1-20	2
0-1	0

dicadora de conservación, por lo que el valor del indicador depende del porcentaje de colonización que se calcule (cuadro 10).

Suelo

Evidencias de saturación periódica

En las áreas riparias conservadas debe existir saturación periódica del suelo, ya que esto implica la presencia continua de agua. Es importante buscar las evidencias de este fenómeno debido a que determina el potencial de recuperación con especies nativas de los sitios cuya vegetación haya sido destruida (cuadro 11).

Evidencias de alta infiltración

La infiltración del agua de lluvia evita la erosión del suelo por escorrentía superficial. Está ligada a la porosidad del suelo que, a su vez, depende de la textura, la mineralogía y el contenido de materia orgánica in-

corporado a partir de la descomposición de la hojarasca proveniente de la vegetación (Cerde, 1998). En sitios degradados con escasa cobertura vegetal existe poca acumulación de hojarasca, lo cual afecta la infiltración, en comparación con aquellos que presentan buena cobertura vegetal. En este caso se buscan evidencias de escorrentía superficial como indicador indirecto de este proceso; el valor del indicador será más alto en los sitios con menor superficie afectada por la escorrentía (cuadro 12).

Evidencias de erosión

Es un proceso que está directamente ligado con la degradación de las áreas naturales como resultado de la incidencia de diversos agentes de disturbio tales como el pastoreo, los incendios y el uso agrícola, y todos los que afectan la cobertura vegetal del suelo, de tal forma que en los sitios en que este proceso se presente será indicio de su evidente degradación (FAO-PNUMA, *op. cit.*) (cuadro 13).

Disturbios

Compactación del suelo ocasionada por el ganado

Se toma en consideración debido a que es uno de los agentes más importantes en la efimerización de los arroyos, ya que al compactar el suelo de los bancos reduce el espacio poroso y su capacidad de retención del agua (Neary y Medina, 1996; Sewars y Valett, 1996).

Cuadro 13. Evidencias de erosión.

Tipo de erosión	Valor correspondiente
Imperceptible	10
Laminar	8
Canalillos	6
Cárcavas	4
Torrenteras	2

Cuadro 14. Compactación del suelo ocasionada por el ganado.

Porcentaje del banco pisoteado	Valor correspondiente
80-100	0
60-80	2
40-60	4
20-40	6
1-20	8
0-1	10

El valor del indicador está dado por el porcentaje de la superficie del banco de ribera con evidencias de compactación (cuadro 14).

Cobertura vegetal del banco de ribera en sitios pastoreados

En el apartado referente a la vegetación se señaló la importancia de la cobertura de los estratos herbáceo y rasante en la protección de los bancos de ribera, así como las consecuencias de su reducción. Se tiene documentado el pastoreo como agente catalizador de la disminución de esa cobertura (Douglas y Marlow, 1992; Shaw y Clary, 1996).

El valor del indicador está determinado por el porcentaje de la superficie del banco de ribera con evidencias de pastoreo (cuadro 15).

Derrumbes del banco de ribera ocasionados por el pisoteo del ganado

Con el pisoteo del ganado se desestabilizan los bancos y en muchas ocasiones se desprenden partes de ellos. Este es un proceso de degradación directa del cauce, ya que reduce el espacio de suelo disponible para el almacenamiento de agua, favoreciendo la erosión y la destrucción sucesiva del banco (Neary y Medina, 1996).

Cuadro 15. Porcentaje de la superficie del banco de ribera con evidencias de pastoreo.

Porcentaje de cobertura vegetal del banco	Valor correspondiente
80-100	10
60-80	8
40-60	6
20-40	4
1-20	2
0-1	0

Cuadro 16. El valor está dado por el porcentaje de derrumbes del banco de ribera.

Porcentaje del banco con derrumbes	Valor correspondiente
80-100	0
60-80	2
40-60	4
20-40	6
1-20	8
0-1	10

Cuadro 17. Presencia de caminos y brechas adyacentes al área riparia.

Presencia de caminos	Valor correspondiente
Sí	0
No	10

Cuadro 18. Valor de acuerdo con el grado de afectación en la superficie ribereña del sitio evaluado.

Porcentaje de superficie incendiada	Valor correspondiente
80-100	0
60-80	2
40-60	4
20-40	6
1-20	8
0-1	10

El valor está dado por el porcentaje de derrumbes del banco de ribera (cuadro 16).

La presencia de caminos y brechas adyacentes al área riparia

Es un factor muy importante en la degradación del área riparia cuando se encuentran adyacentes a ella, principalmente por la destrucción de la vegetación y como fuente principal de sedimentos (Burns *et al.*, 1995; Madrigal-Huendo *et al.*, 1995). En este caso sólo se considera la presencia o ausencia (cuadro 17).

Evidencias de incendios en el área riparia

Con la incidencia de incendios se reduce la cubierta vegetal por la combustión de los materiales y por el ataque de plagas, al disminuir el vigor de las plantas disminuye también la hojarasca del suelo y la velocidad de infiltración, lo que repercute en la degradación del área por erosión debido a la escorrentía superficial (Chávez y Carmona, 1994; Inbar *et al.*, 1998). Los efectos serán mayores mientras más grande sea la superficie afectada, por esta razón, al indicador se le asigna el valor de acuerdo con el grado de afectación en la superficie ribereña del sitio evaluado (cuadro 18).

Tala de árboles en la zona de ribera

Es un agente de degradación directo e inmediato, que al destruir la cubierta vegetal favorece la penetración directa de los rayos solares a la corriente de agua, aumentando su temperatura, con la subsecuente reducción del oxígeno disuelto y el incremento de la evapo-

ración, además de desencadenar la incidencia de otros factores de degradación como la erosión hídrica.

Se considera sólo la presencia o ausencia de este factor (cuadro 19).

Presencia de terrenos de cultivo adyacentes al arroyo

El cambio de uso del suelo en esta zona es desfavorable para el arroyo, ya que significa la destrucción de la cubierta vegetal natural, la pérdida de germoplasma, la disminución de la infiltración y el aumento de la erosión hídrica, con lo que se convierte en una fuente importante de sedimentos y degradación directa para el arroyo (Fitzjohn *et al.*, 1998).

El valor se obtiene de la presencia o ausencia de este factor (cuadro 20).

Cuadro 19. Tala de árboles en la zona de ribera.

Evidencias de tala de árboles	Valor correspondiente
Sí	0
No	10

Cuadro 20. Presencia de terrenos de cultivo adyacentes al arroyo.

Terrenos de cultivo adyacentes	Valor correspondiente
Sí	0
No	10

Cuadro 21. Principales variables morfométricas de la cuenca del arroyo Tiquio, municipio de Morelia, Michoacán, México.

Variables	Valores obtenidos
Área (ha)	633.82
Perímetro (km)	12.93
Longitud del eje mayor (km)	4.58
Ancho promedio (km)	1.72
Longitud del eje menor (km)	2.45
Altitud media (msnm)	2328
Pendiente media (%)	12.38
Coefficiente de compacidad	1.449
Relación de elongación	0.5295
Factor de forma	0.3788
Densidad de drenaje (km/km ²)	3.197
Densidad de corrientes (corr./km ²)	7.19
Longitud del cauce principal (km)	5.3642
Pendiente promedio del cauce principal (%)	6.5
Tiempo de concentración (min)	28

Finalmente, para obtener la calificación general de cada sitio se suman y promedian los valores asignados a cada componente ($\bar{x}$) y al sacar el promedio de las medias se tiene el valor de clasificación del sitio.

De acuerdo con la escala manejada de 0 a 10, el 0 significa la degradación total del componente en ese tramo de arroyo; cualquier valor intermedio significa grados intermedios de disturbio, sin llegar a destrucción total; el 10 representa las condiciones más íntegras posibles.

Cabe resaltar que este método ha sido creado para que pueda utilizarse en el campo por personal técnico no especializado (aunque sí se requiere cierta capacitación), por lo que se prescinde de algunos componentes del ecosistema que requieren de mediciones complejas en el tiempo o que son difícilmente apreciables en el campo.

Resultados y discusión

Como estudio de caso, a manera de ejemplo para demostrar la metodología propuesta, se presenta el análisis del grado de funcionalidad de las áreas riparias del arroyo Tiquio, municipio de Morelia, Michoacán. Se eligió esta cuenca porque forma parte del sistema hidrológico que drena sus aguas hacia la ciudad de Morelia y contribuye tanto al abastecimiento de agua potable que consumen sus habitantes como a las inundaciones de algunos sectores de la población.

La cuenca hidrográfica del arroyo Tiquio se ubica aproximadamente a 6 km al sureste de la ciudad de Morelia, a una altitud media de 2,328 metros sobre el

Cuadro 22. Valores obtenidos de la evaluación de campo para los 20 indicadores de la vegetación, agua, suelo, disturbios y promedio resultante para los 48 sitios de muestreo en el arroyo Tiquio, municipio de Morelia, Michoacán, México.

	Vegetación						Agua y morfología						Suelo				Disturbios								Promedio general
Sub-índice	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	$\bar{X}$	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	$\bar{X}$	3.1	3.2	3.3	$\bar{X}$	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	$\bar{X}$	
Sitio																									
1	8	8	6	6	8	7.2	10	10	0	5	4	5.8	0	8	8	5.3	8	10	10	10	10	0	10	8.2	6.65
2	2	8	8	2	6	5.2	6	10	0	0	10	5.2	0	8	8	5.3	8	8	2	10	10	0	0	5.4	5.75
3	2	8	10	6	8	6.8	10	8	5	5	8	7.2	10	6	8	8.0	10	10	10	10	0	0	0	5.7	7.24
4	8	6	8	8	8	7.6	10	8	10	10	10	9.6	10	8	8	8.6	8	10	10	10	0	0	0	5.4	7.83
5	2	8	8	10	8	7.2	10	10	10	10	10	10.0	10	0	8	6.0	10	10	10	0	0	0	10	5.7	7.26
6	8	6	8	8	6	7.2	6	2	10	10	10	7.6	10	8	8	8.6	8	8	8	0	2	0	10	5.1	6.48
7	10	10	10	10	8	9.6	10	10	10	10	2	8.4	10	10	10	10	10	10	10	0	10	0	0	5.7	8.37
8	6	8	10	4	6	6.8	10	6	10	5	4	7.0	10	10	8	9.3	8	10	10	0	10	0	0	5.4	7.27
9	8	6	10	8	6	7.6	6	8	10	10	4	7.6	10	6	8	8.0	8	8	10	0	2	0	0	4.0	6.44
10	2	6	8	8	6	6.0	0	0	10	0	4	2.8	10	0	8	6.0	0	0	2	0	10	0	0	1.7	3.82
11	10	6	8	4	8	7.2	8	2	10	10	2	6.4	10	6	8	8.0	8	10	10	0	10	0	0	5.4	6.37
12	10	8	10	2	6	7.2	10	0	10	10	2	6.4	10	0	8	6.0	10	10	10	0	2	0	10	6.0	6.82
13	10	8	10	2	8	7.6	0	0	10	2	2	2.8	10	8	8	8.6	10	10	10	0	10	0	10	7.1	7.28
14	10	10	10	2	8	8.0	10	0	10	10	2	6.4	10	6	8	8.0	10	10	10	0	10	0	10	7.1	7.62
15	10	8	10	4	4	7.2	10	6	10	0	8	6.8	10	6	8	8.0	10	10	10	0	8	0	10	6.8	7.36
16	4	6	10	2	6	5.6	10	0	10	10	2	6.4	10	6	8	8.0	10	10	10	0	10	0	10	7.1	7.00
17	10	6	10	6	6	7.6	6	2	10	10	2	6.0	10	8	6	8.0	10	10	10	0	10	0	10	7.1	7.09
18	8	5	8	0	2	4.6	10	0	10	10	0	6.0	10	6	6	7.3	10	10	10	0	10	0	10	7.1	6.66
19	10	2	10	2	4	5.6	3	0	10	5	2	4.0	10	4	8	7.3	8	10	10	0	8	0	10	6.5	6.51
20	10	8	10	2	2	6.4	8	0	10	5	4	5.4	10	4	8	7.3	6	10	10	0	10	10	10	8.0	6.99
21	10	8	10	0	8	7.2	10	0	10	10	0	6.0	10	8	8	8.6	8	10	10	0	10	0	10	6.8	7.23
22	8	6	8	4	8	6.8	6	0	10	5	8	5.8	10	8	8	8.6	8	10	10	0	10	0	10	6.8	6.90
23	10	2	8	4	6	6.0	10	2	10	10	6	7.6	10	6	8	8.0	8	10	10	0	10	0	10	6.8	6.88
24	10	10	10	2	8	8.0	10	0	10	10	0	6.0	10	8	10	9.3	10	10	10	0	10	10	10	8.5	8.07
25	10	10	10	6	8	8.8	10	4	10	10	6	8.0	10	8	8	8.6	10	10	10	0	10	10	10	8.5	8.25
26	10	6	8	6	6	7.2	7	2	10	5	8	6.4	10	6	8	8.0	10	10	10	0	10	10	10	8.5	7.55
27	8	8	6	2	8	6.4	10	0	10	10	6	7.2	10	8	8	8.6	8	10	10	0	10	10	0	6.8	7.46
28	10	6	10	2	8	7.2	10	0	10	5	4	5.8	10	8	8	8.6	10	10	10	0	10	0	10	7.1	7.36
29	4	2	6	0	2	2.8	8	0	10	5	2	5.0	10	2	8	6.6	6	8	2	0	1	0	0	2.4	3.68
30	8	6	10	4	8	7.2	10	4	10	10	0	6.8	10	8	8	8.6	10	10	10	0	10	0	10	7.1	7.70
31	6	4	8	0	8	5.2	10	6	10	5	2	6.6	10	2	8	6.6	4	6	4	0	10	0	10	4.8	5.08
32	8	6	10	4	4	6.4	6	8	10	5	8	7.4	10	6	8	8.0	4	2	2	0	10	0	10	4.0	5.74
33	10	3	8	0	8	5.8	10	0	10	10	6	7.2	10	8	10	9.3	10	10	10	0	10	10	10	8.5	7.55
34	4	8	10	2	2	5.2	10	6	10	5	0	6.2	10	4	6	6.6	6	10	10	0	10	0	10	6.5	6.28
35	6	6	10	2	4	5.6	10	6	10	10	4	8.0	10	6	6	7.3	4	8	2	0	10	0	10	4.8	5.96
36	4	2	8	2	4	4.0	6	2	10	5	0	4.6	10	4	8	7.3	2	0	0	0	10	0	0	1.7	3.72
37	8	8	10	2	8	7.2	10	0	10	10	0	6.0	10	0	8	6.0	2	10	8	0	10	0	0	4.2	5.65
38	2	8	6	0	4	4.0	10	2	10	0	0	4.4	10	0	6	5.3	0	2	0	0	10	0	0	1.7	3.08
39	10	6	8	2	0	5.2	10	0	10	10	2	6.4	10	0	4	4.6	0	2	8	0	10	0	0	2.8	4.36
40	0	6	6	0	2	2.8	6	0	10	0	0	3.2	10	0	6	5.3	0	2	0	0	10	0	0	1.7	2.85
41	10	4	6	0	2	4.4	10	6	10	0	0	5.2	10	0	4	4.6	0	8	10	0	10	0	0	4.0	4.82
42	8	2	6	0	4	4.0	10	6	10	0	0	5.2	10	0	6	5.3	0	0	0	0	10	0	0	1.4	3.10
43	0	2	4	0	0	1.2	10	0	10	0	0	4.0	10	0	4	4.6	0	0	0	0	10	0	0	1.4	3.39
44	6	3	6	2	4	4.2	10	0	10	10	2	6.4	10	0	4	4.6	0	2	2	0	10	10	0	3.4	3.62
45	0	3	6	0	0	1.8	10	0	5	5	0	4.0	10	0	4	4.6	0	4	0	0	10	0	0	2.0	2.54
46	0	0	8	0	2	2.0	6	0	5	5	0	3.2	10	0	6	5.3	0	6	2	0	10	0	0	2.5	2.53
47	4	0	8	2	4	3.6	10	0	5	10	2	5.4	10	0	4	4.6	0	2	8	0	10	10	0	4.2	3.35
48	6	2	6	2	2	3.6	10	6	5	5	2	5.6	10	0	6	5.3	0	2	6	0	10	0	0	2.5	3.36

Cuadro 23. Dos sitios con estado de conservación contrastante en el arroyo Tiquio, municipio de Morelia, Michoacán, México.

	Vegetación						Agua y morfología						Suelo				Disturbios										
Sub- índice	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	$\bar{X}$	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	$\bar{X}$	3.1	3.2	3.3	$\bar{X}$	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	$\bar{X}$	Promedio		
Sitio																											
25	10	10	10	6	8	8.8	10	4	10	10	6	8.0	10	8	8	8.6	10	10	10	0	10	10	10	8.5	8.25		
43	0	2	4	0	0	1.2	10	0	10	0	0	4.0	10	0	4	4.6	0	0	0	0	10	0	0	1.4	3.39		

nivel del mar. Tiene un perímetro de 12.93 km, que encierran 633.8 ha de superficie, con forma ligeramente alargada asimétrica, según su coeficiente de compacidad de 1.449. El relieve es accidentado, con pendiente media de 12.38 por ciento.

Los parámetros morfométricos más importantes se presentan en el cuadro 21.

El patrón de drenaje de esta cuenca es asimétrico, con una densidad de corrientes de 7.19 cauces/km². El cauce principal del arroyo Tiquio tiene 5,364.2 m de longitud, con pendiente promedio de 6.5%. Es un arroyo perenne de tercer orden, alimentado por 11 corrientes de segundo orden que, a su vez, son efluentes de 37 corrientes de primer orden.

En este arroyo se muestrearon 48 sitios de 32 m cada uno. Los valores obtenidos para cada uno de los indicadores se presentan en el cuadro 22.

Como se aprecia en dicho cuadro, los valores obtenidos para un mismo sitio reflejan la ausencia de homogeneidad en el estado de conservación de todos sus componentes, es decir, en un sitio con buen estado de conservación general (valor promedio) no necesariamente todos sus elementos están igualmente conservados, sino que en cada caso hay algunos elementos que están excelentemente conservados, mientras que otros presentan evidencias de degradación. Por ejemplo, el sitio 25 (cuadro 23, ilustración 2), uno de los más conservados, aunque tiene dominancia total de especies indicadoras (1.1), alta cobertura de los estratos arbóreo y arbustivo (1.2), buena estructura de la vegetación (1.3), flujo de agua perenne (2.3), etcétera, otros componentes como la cobertura de los bancos del arroyo (1.4), la cantidad de sedimentos depositados dentro del cauce (2.2), la colonización de los mismos (2.5) y la influencia de un camino que corre paralelo al arroyo (4.4) son los responsables de la disminución de su conservación.

Por su parte, en el sitio 43 (ilustración 3, cuadro 23), uno de los más destruidos, la mayoría de sus elementos están muy degradados, sin embargo, su valor promedio no es 0.0 (que equivale a un tramo totalmente destruido) sino de 3.39 y es el reflejo de la presencia de evidencias de saturación periódica (3.1), régimen

de flujo perenne (2.3) y el tipo de cauce concordante con las características topográficas del lugar (2.1).

Lo anterior es una muestra de la complejidad de la interacción de los componentes del ecosistema ripario con los múltiples factores que lo afectan y señala su versatilidad para responder a ellos, por esta razón la

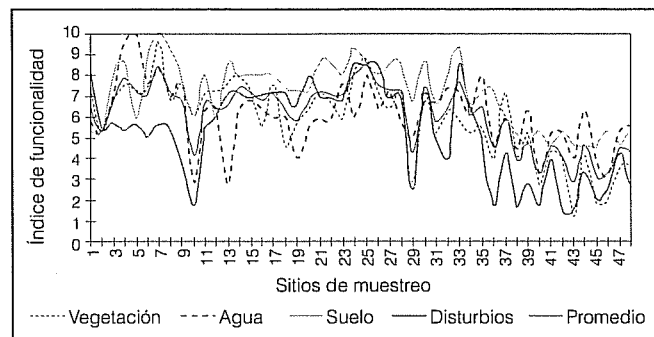
Ilustración 2. Fotografía del sitio 25, representando el tramo mejor conservado del arroyo Tiquio, municipio de Morelia, Michoacán, México.



Ilustración 3. Fotografía del sitio 43, representando el tramo más degradado del arroyo Tiquio, municipio de Morelia, Michoacán, México.



Ilustración 4. Variación espacial del estado de conservación de los principales componentes del ecosistema ripario del arroyo Tiquio, municipio de Morelia, Michoacán, México.



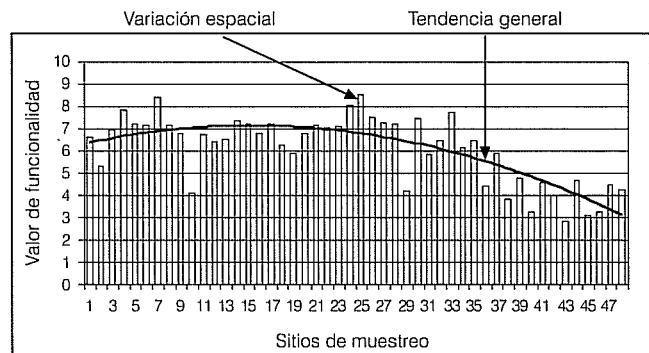
valoración de los componentes permite visualizar las áreas prioritarias para rehabilitación y los factores a corregir en cada caso.

En la ilustración 4 se esquematiza la variación espacial del estado de conservación de los cuatro grandes componentes que se consideraron en este sistema de diagnóstico. Se aprecia gráficamente la relación que guardan entre sí, sin embargo es notorio que hay diferencias espaciales de esta relación, es decir, en la parte alta (sitios del 1 al 13), los quiebres de la curva del valor promedio corresponden más cercanamente con los del valor parcial de la vegetación que con el resto y a medida que se desplaza la curva hacia la parte media (sitios del 20 al 33), los disturbios van adquiriendo mayor relevancia. Esto significa que en esta porción del arroyo su conservación depende más de estos dos conjuntos de elementos que de sus colaterales. Este patrón continúa hasta la parte baja.

Por lo anterior queda claro que es poco confiable el diagnóstico de un ecosistema ripario basado en estudios fragmentados que consideren un solo factor o varios factores por separado, sino que deben considerarse todos sus componentes.

En la ilustración 5 se resumen los valores obtenidos para los 48 sitios de evaluación del arroyo Tiquio, el eje vertical corresponde a una escala de valores de 0 a 10, que representa el promedio de todos los indicadores y corresponde de manera cuantitativa al grado de funcionalidad de cada tramo del arroyo. Esta gráfica muestra la mejor condición hacia las altitudes mayores e intermedias (sitios del 1 al 33) los valores promedio son superiores a 6.0, pero no alcanzan el 9.0, mientras que hacia la parte más baja (sitios del 34 al 48) se observa una clara tendencia (curva negra) a la disminución de estos valores, lo que significa que es la zona con las áreas riparias más degradadas de todo el arroyo.

Ilustración 5. Estado de conservación de los sitios de muestreo del arroyo Tiquio, municipio de Morelia, Michoacán, México (sitio 1 en la parte más alta, sitio 48 en la más baja de la cuenca).



Los valores más bajos obtenidos en la parte media y alta (barras), que corresponden a los sitios 2, 10 y 29, son similares a la mayoría de los casos en la parte baja. Estos sitios presentan alta degradación, posiblemente derivada de la presencia de algunos factores de disturbio registrados en la ribera de estos tramos de arroyo. Las causas principales son modificaciones antropogénicas en el curso natural del arroyo (sitio 2), pastoreo de ganado en la ribera (sitios 2, 10 y 29), cárcavas (sitio 10) y agricultura (sitio 29). Por otra parte, los picos más altos de la gráfica corresponden a los sitios 7, 24 y 25, que son los tramos mejor conservados. En estos lugares, la mayoría de sus componentes están en buen estado, sin embargo, no alcanzan el valor máximo teórico debido a la poca colonización de los bancos de materiales por las plantas, posiblemente por el efecto de la acumulación de sedimentos provenientes de los caminos adyacentes, como lo encontraron Madrigal-Huendo *et al.* (1995) en el arroyo El Carrizal, en Tapalpa, Jalisco.

Conclusiones

Tomando en cuenta los objetivos planteados en el presente trabajo, el análisis de los resultados obtenidos permitió llegar a las siguientes conclusiones:

1. El método empleado es una herramienta de gran utilidad para el diagnóstico rápido de este tipo de ecosistemas debido a que mostró alta sensibilidad para detectar cambios y diferencias entre los distintos tramos del arroyo.
2. El método utilizado permite obtener una aproximación cuantitativa de las condiciones ecológicas actuales de un arroyo, es decir, qué tan degradado está, lo cual es útil para estimar tiempos y costos necesarios para su recuperación en función de su nivel de degradación.

3. El área riparia presenta diferentes grados de conservación en los distintos tramos del arroyo Tiquio, desde los bien conservados hasta los muy degradados.
4. Los sitios mejor conservados se localizan en la parte media y alta del arroyo, mientras que la mayoría de los más degradados están ubicados en la parte baja.
5. Debido a que se analiza el ecosistema de manera integral con esta herramienta, es factible identificar, priorizar y, en su caso, corregir a tiempo, los componentes del ecosistema con problemas más fuertes de degradación.
6. Por su rapidez, este método puede ser utilizado en secuencias cronológicas para el monitoreo temporal y para fundamentar instrumentos de política como el ordenamiento territorial y la manifestación de impacto ambiental, así como acciones de conservación y manejo de redes fluviales y sus cuencas en zonas templadas.

Agradecimientos

Deseamos hacer patente nuestro agradecimiento al SIMORELOS del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) de México por el financiamiento del proyecto (9606030) y a los revisores anónimos del manuscrito por sus atinadas sugerencias.

Recibido: 06/07/2000
Aprobado: 17/01/2001

Referencias

- Bevenger, G.S., R.M. King, *A Pebble Count Procedure for Assessing Watershed Cumulative Effects*, RM-RP-319, USDA-FS, Fort Collins, Estados Unidos, 1995, 17 pp.
- Braun-Blanquet, J., *Fitosociología: Bases para el estudio de las comunidades vegetales*, H. Blume Ediciones, Argentina, 1979, 803 pp.
- Burns, G.R., L. Madrigal-Huendo y Neary D.G., "Métodos de bajo costo para el control de sedimentación en caminos" en *Cooperación social para el manejo sostenible de ecosistemas forestales*, Aguirre-Bravo, C., L. Eskew, A.B. Villa-Salas y C.E. González-Vicente (editores), 5° Simposio Bienal Mex-EUA, RM-GTR-266, USDA-FS, 1995, pp. 148-153.
- Cenderelli, D.A. y J.S. Kite, "Geomorphic Effects of Large Debris Flows on Channel Morphology at North Fort Mountain, Eastern West Virginia, USA", *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 23, 1998, pp. 1-19.
- Cerda, A., "Soil Aggregate Stability under Different Mediterranean Vegetation Types", *Catena*, vol. 32, 1998, 73-86.
- Chávez, H.Y. y C.G. Carmona, *Efecto de los incendios forestales sobre la erosión, la escorrentía superficial y la infiltración de los suelos*, folleto de investigación núm. 1, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Morelia, Michoacán, México, 1994, 26 pp.
- DeBano, F.L. y L.J. Schmidt, *Improving Southwestern Riparian Areas through Watershed Management*, RM-GTR-182, USDA-FS, Fort Collins, Estados Unidos, 1989, 33 pp.
- Douglas, R.A. y C.B. Marlow, "Effects of Cattle Grazing on Shoot Population Dynamics of Beaked Sedge", *Proceedings-Symposium on Ecology and Management of Riparian Shrub Communities*, Clary W.P., E.D. McArthur, D. Bedunah y C.L. Wambolt (editores), INT-289, GTR, USDA-FS, Ogden, Estados Unidos, 1992, pp. 89-91.
- FAO-PNUMA, *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*, UNESCO, Roma, 1980, 80 pp.
- Fitzjohn, C., J.L. Ternan y A.G. Williams, "Soil Moisture Variability in a Semi-Arid Gully Catchment: Implications for Runoff and Erosion Control", *Catena*, vol. 32, 1998, pp. 55-70.
- Henao, J.E., *Introducción al manejo de cuencas hidrográficas*, Universidad Santo Tomás, Bogotá, 1988, 396 pp.
- Hill, H.B., *The Role of Aquatic Macrophytes in Nutrient Flow Regulation in Lotic Ecosystems*, Isom BG, American Society for Testing and Materials, ASTM-STP-894, Filadelfia, 1986, pp. 157-167.
- Inbar, M., M. Tamir y L. Wittenberg, "Runoff and Erosion Processes After a Forest Fire in Mount Carmel, a Mediterranean Area", *Geomorphology*, vol. 24, 1998, pp. 17-33.
- Madrigal-Huendo, L., Y. Chávez-Huerta y D.G. Neary, "Sedimentos derivados de los caminos en la cuenca del arroyo El Carrizal, Tapalpa, Jalisco, México", *Cooperación social para el manejo sostenible de ecosistemas forestales*, Aguirre-Bravo, C., L. Eskew, A.B. Villa-Salas y C.E. González-Vicente (editores), 5° Simposio Bienal Mex-EUA, RM-GTR-266, USDA-FS, 1995, pp. 189-201.
- Madrigal-Sánchez, X., profesor-investigador de la Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, comunicación personal, 1998.
- Medina, L.A., M.B. Baker Jr. y D.G. Neary, "Desirable Functional Processes: A Conceptual Approach for Evaluating Ecological Condition", *Desired Future Condition for Southwestern Riparian Ecosystems: Bringing Interests and Concerns Together*, Shaw, D.W. y D.M. Finch (coordinadores técnicos), RM-GTR-272, USDA-FS, Albuquerque, Nuevo México, 1996, pp. 302-311.
- Medina, L.A., "Native Aquatic Plants and Ecological Condition on Southwestern Wetlands and Riparian Areas", *Desired Future Condition for Southwestern Riparian Ecosystems: Bringing Interests and Concerns Together*, Shaw, D.W. y D.M. Finch (coordinadores técnicos), RM-GTR-272, USDA-FS, Albuquerque, Nuevo México, 1996, pp. 329-334.

- Neary, D.G. y A.L. Medina, "Geomorphic Response of a Montane Riparian Habitat to Interactions of Ungulates, Vegetation, and Hydrology", *Desired Future Condition for Southwestern Riparian Ecosystems: Bringing Interests and Concerns Together*, Shaw, D.W. y D.M. Finch (coordinadores técnicos), RM-GTR-272.USDA-FS, Albuquerque, Nuevo México, 1996, pp. 143-147.
- Ohmart, R.D., "Ecological Condition of the East Fork of the Gila River and Selected Tributaries: Gila National Forest, New Mexico", *Desired Future Condition for Southwestern Riparian Ecosystems: Bringing Interests and Concerns Together*, Shaw, D.W. y D.M. Finch (coordinadores técnicos), RM-GTR-272.USDA-FS, Albuquerque, Nuevo México, 1996, pp 312-317.
- Rosgen, D.L., "A Classification of Natural Rivers", *Catena*, vol. 22, 1994, pp. 169-199.
- Rosgen, D.L., "Applied River Morphology", *Wildlan Hydrology*, Pagosa Springs, Colorado, 1996.
- Sewars, M.A. y H.M. Valett, "Effects of Grazing on Nutrient Retention in a Headwater Stream of the Rio Puerco Basin", *Desired Future Condition for Southwestern Riparian Ecosystems: Bringing Interests and Concerns Together*, Shaw, D.W. y D.M. Finch (coordinadores técnicos), RM-GTR-272.USDA-FS, Albuquerque, Nuevo México, 1996, pp. 135-142.
- Shaw, N.L. y W.P. Clary, "Willow Establishment in Relation to Cattle Grazing on an Eastern Oregon Stream", *Desired Future Condition for Southwestern Riparian Ecosystems: Bringing Interests and Concerns Together*, Shaw, D.W. y D.M. Finch (coordinadores técnicos), RM-GTR-272.USDA-FS, General Technical Report USDA-FS, Albuquerque, Nuevo México, 1996, pp 148-153.
- Sims, B., J. Piatt, L. Johnson, C. Purchase y J. Phillips, "Channel Bed Particle Size Distribution Procedure Used to Evaluate Watershed Cumulative Effects for Range Permit Re-Issuance on the Santa Fe National Forest", *Desired Future Condition for Southwestern Riparian Ecosystems: Bringing Interests and Concerns Together*, Shaw, D.W. y D.M. Finch (coordinadores técnicos), RM-GTR-272.USDA-FS, General Technical Report USDA-FS, Albuquerque, Nuevo México, 1996, pp. 318-326.
- Solis-Garza, G., W. Brady y A. Medina, "Riparian Plant Communities on the Río Los Ajos, Sonora, México", *Ecológica*, vol. 3, 1993, pp. 13-22.

Abstract

Zepeda Castro, H., A.F. Gómez-Tagle Rojas, Y. Chávez Huerta & A.L. Medina, "Riparian Ecosystems Quick Assessment Methodology in Temperate Zones", *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)*, vol. XVII, num. 1, pages 61-74, January-March, 2002.

An integral methodology to assess performance of riparian ecosystems, based on indicators, was designed and tested. Indicators were constructed from structural components of these ecosystems. The case evaluation results of Tiquio creek, a low order tributary in the Cuitzeo Lake watershed in central Mexico is presented as a study. This methodology was applied at 48 sites along the creek. Results indicate that this stream has highly spatial variable ecological conditions. Degraded sites are found both up and downstream, while preserved sites dominate the middle portion. We concluded that the method has high sensitivity to detect spatial variations of ecological conditions on streams, and is useful for diagnosis and control of watersheds and hydrological networks and so be used to design conservation and management policies.

Key words: riparian ecosystems, quick assessment in watersheds, mountain streams, ecological indicators.

Dirección institucional de los autores:

Hugo Zepeda Castro

Miembro del Proyecto Ecosistemas Ribereños del
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias
(INIFAP)
Campo Extal, Morelia, Constitución 50, col. Morelos, 58030 Morelia,
Michoacán, México.
Teléfono: (52) (443) 326 5030
Correo electrónico: guianativo@latinmail.com

Alberto F. Gómez-Tagle Rojas

Investigador forestal y miembro del doctorado en recursos bióticos
INIRENA UMSNH y del Proyecto Ecosistemas Ribereños del
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias
(INIFAP)
Campo Extal, Morelia, Valle de Guayangareo 105, Valle Quieto,
58060 Morelia, Michoacán, México.
Teléfono: (52) (443) 316 4539
Correo electrónico: yolalber@mail.giga.com

Yolanda Chávez Huerta

Investigadora forestal y líder del Proyecto Ecosistemas Ribereños
del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y
Agropecuarias (INIFAP)
Campo Extal, Morelia, Valle de Guayangareo 105, Valle Quieto,
58060 Morelia, Michoacán, México.
Teléfono: (52) (443) 316 4539
Correo electrónico: yolalber@mail.giga.com

Alvin L. Medina

Ecólogo del Servicio Forestal de Estados Unidos y miembro del
Proyecto Ecosistemas Ribereños. Estación Experimental Forestal y
de Manejo de las Montañas Rocallosas, Flagstaff, Arizona, Estados
Unidos.