

Ríos de la reserva de la biosfera El Triunfo, un diagnóstico para su restauración ecológica

“El Triunfo” biosphere reserve rivers, a diagnosis for their hydrological restoration

Sergio Alberto Salinas-Rodríguez¹ y Neptalí Ramírez-Marcial²

¹ Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, España. Dirección actual: Calle G Manzana 5 #13, Colonia Educación. Delegación Coyoacán, México D.F. CP 04400 México

² El Colegio de la Frontera Sur. Depto. de Ecología y Sistemática Terrestre. Carr. Panamericana y Perif. Sur s/n. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. 29290. México
e-mail: seasar29@gmail.com

Salinas-Rodríguez, S. A. y N. Ramírez-Marcial. 2010. Ríos de la reserva de la biosfera El Triunfo, un diagnóstico para su restauración ecológica. *Hidrobiológica* 20(2): 91-100.

RESUMEN

En los últimos años los ríos en la Reserva de la Biosfera “El Triunfo” (REBITRI) y su área de influencia, han incrementado su cauce a causa de eventos de alta precipitación, produciendo pérdidas humanas y económicas en los estados de Chiapas y Tabasco. El objetivo del presente trabajo fue identificar, caracterizar y diagnosticar el estado ecológico de cinco tramos de ríos dentro de esta área natural. Se realizó un análisis multicriterio para definir los tramos de muestreo; para cuantificar sus cambios y dinamismo, se caracterizaron geomorfológica e hidrológicamente y se completó el análisis SIG a través del trazado en planta de cada tramo para obtener índices de composición y configuración de cada componente del paisaje ripario. Los resultados indican que la respuesta de los ríos está mediada por la falta de cobertura vegetal arbórea, imprescindible como obstáculo para retener y absorber mayor cantidad de agua producto de la escorrentía superficial en las laderas de influencia de los segmentos de ríos analizados. Por lo tanto, los proyectos de restauración hidrológica deben considerar el restablecimiento de la cobertura vegetal para equilibrar la relación de los procesos de erosión y sedimentación.

Palabras clave: Restauración hidrológica, escorrentía superficial, huracanes, cambio de uso del suelo, SIG.

ABSTRACT

In recent years the rivers in “El Triunfo” Biosphere Reserve (REBITRI) and its influence area have increased their riverbanks in width because of high precipitation events, resulting in economic and human losses in the states of Chiapas and Tabasco. The objective of the present work was to identify, characterize, and diagnose five river sections to assess their ecological status inside of this natural area. Multicriterion analysis was performed to define the sampling rivers sections; to quantify its changes and dynamism, were characterized geomorphological and hydrologically, and the GIS analysis was complete through an aerial photos comparison to obtain composition and configuration index of each riparian landscape patch. The results indicate that the response of these rivers sections is mainly influenced by lack of tree cover on slopes. Plant cover is essential to retain and absorb much water as product of the surface runoff on the slopes. Therefore, the hydrological restoration projects must consider the tree cover reestablishment to balance erosion and sediment process relationship.

Key words: Hydrological restoration, surface runoff, hurricanes, land-use change, GIS.

INTRODUCCIÓN

Algunos procesos de degradación, daño, destrucción o transformación de ecosistemas ribereños pueden deberse a diversos factores climáticos extremos (altas precipitaciones) o a factores antropogénicos como la construcción de caminos, cambios en la vegetación de ribera y extracción de gravas, entre otros (González del Tanago & García de Jalón, 2007; Rosgen, 2006). Dichos cambios comprometen el funcionamiento y la integridad del ecosistema e incrementan los efectos tras las crecidas de los ríos, poniendo en riesgo la integridad y el bienestar social de quienes habitan cerca de los cauces. Por ejemplo, la deforestación en las partes altas de una cuenca, provoca que los ríos aumenten su caudal notablemente justo después de un evento de alta precipitación, incrementando el riesgo por inundaciones (Bruijnzeel, 1990; Hewlett, 1982; Sahin & Hall, 1996).

Los municipios de Mapastepec, Pijijiapan y Tapachula en el estado de Chiapas, sur de México, fueron severamente afectados por el huracán Mitch en 1998, al cual se le atribuyen de manera no oficial más de 1000 muertes (Richter, 2000). De acuerdo con la misma fuente, los factores más importantes de este desastre natural fueron: la precipitación y las condiciones de humedad, la deforestación en las partes altas de las cuencas y los asentamientos humanos a lo largo de las riberas río abajo. Tras las lluvias y a falta de cobertura vegetal, la captación de agua en la cuenca y su drenaje a través de los ríos fue muy rápido, creándose condiciones idóneas de erosión en las laderas y cauces, el escurrimiento del agua llevaba consigo sedimentos excesivos que ocuparon espacios a lo largo de las riberas y llanuras de inundación, sepultando inclusive algunas comunidades que estaban situadas en estos espacios. Acorde con un reciente reporte (CONACYT-COCYTECH, 2008), las lluvias del huracán Stan produjeron impactos ambientales, productivos y sociales con daños a 5,586 km de la red de caminos a causa del desbordamiento de 98 ríos, con afectación directa a 510 mil personas de 499 localidades.

Rosgen (1994; 2006) ha descrito los procesos hidrogeomorfológicos de los ríos en buen estado ecológico mediante un mosaico cambiante en el paisaje del ecosistema fluvial en etapas sucesivas. Según el mismo autor, la energía y dinamismo de un río está influenciada por la precipitación en la cuenca, la pendiente longitudinal del cauce, el tipo de valle que lo rodea y las laderas que vierten en él; esto produce distintos tipos de cauces y corrientes, manteniendo una relación erosión-sedimentación y presentándose diferentes formas del lecho a lo largo de su recorrido. Rohde (2004) describe cómo en suelos desnudos se establece desde vegetación pionera hasta bosques maduros proveyendo de hábitat a diferentes especies, y donde de acuerdo con Tongway & Hindley (2004) la cobertura vegetal y del suelo proporcionan la heterogeneidad necesaria al paisaje para retener y captar el escurrimiento de agua en la cuenca.

En esta investigación la pregunta a responder fue: ¿el comportamiento y dinamismo de los ríos en la Reserva de la Biosfera "El Triunfo" (REBITRI) y su zona de influencia está relacionada con sus características hidrogeomorfológicas? Previo a la implementación de una restauración hidrológica en ríos y riberas, se requiere analizar sus aspectos geomorfológicos e hidrológicos (Rosgen, 2006) tomando en cuenta su contexto espacial y temporal (Fryirs & Brierley, 2009). El estudio parte de una caracterización geomorfológica, del régimen hidrológico y de la configuración de los componentes del ecosistema de ribera contiguo en el paisaje, facultando un diagnóstico integral.

MATERIALES Y MÉTODOS

La REBITRI se localiza en la Sierra Madre de Chiapas y tiene una superficie de 119,177 ha (zonas núcleo: El Triunfo, Ovando, Cuxtepec, El Venado y La Angostura, con una superficie conjunta de 25,763 ha; zona de amortiguamiento: 93,458.41 ha). Abarca parte de los municipios de Pijijiapan, Mapastepec, Acacoyagua, Ángel Albino Corzo, La Concordia, Villacorzo y Siltepec, comprendidos en las regiones económicas Fraileasca, Sierra, Istmo, Costa y Soconusco (SEMARNAP, 1998). En este estudio se incorporó una zona de influencia definida por las cotas NE 700 y SO 200 msnm (563,740.7 ha, Fig. 1), anexándose a los municipios anteriores, porciones de Chicomuselo, Escuintla, Huixtla, Motozintla, Tonalá y Villa Comaltitlán.

Los climas presentes de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1987) son: A(C)m(w), Am(w), Aw2(w), C(m)(w) y C(w2)(w). La precipitación en el área oscila entre 1,000-3,000 mm en temporada de lluvia y de 50-350 mm en temporada de estiaje (LAIGE, 2008). El área presenta rocas ígneas intrusivas y extrusivas, sedimentarias y metamórficas. Hay diversidad de suelos de textura fina o media, como litosoles, cambisoles eútricos, acrisoles húmicos y acrisoles plínticos (LAIGE, 2008).

Selección de áreas de muestreo y criterios. La selección de área de muestreo se realizó con base en la aplicación de la extensión *Spatial Analyst Tool-Overlay-Weighted Sum* para el programa de ESRI ArcMap 9.2 (2006). Se utilizaron capas geográficas de índole ambiental y social para determinar superficies con diferentes grados de degradación potencial. Se ponderó su importancia de acuerdo con la siguiente premisa: "a menor pendiente, la energía del cauce tiende a disiparse haciendo más sinuoso al río y tras una importante avenida de agua, el riesgo de inundación se incrementa acelerando los procesos de erosión y sedimentación" (González del Tanago & García de Jalón, 2007; Rohde, 2004; Rosgen, 1994 y 2006; Tongway & Hindley, 2004), y las categorías de prioridad establecidas fueron con base en los atributos de cada capa (Tabla 1).

Al mapa resultante del modelo se sobrepuso la red hidrológica y se validó con la opinión de otros expertos a través de

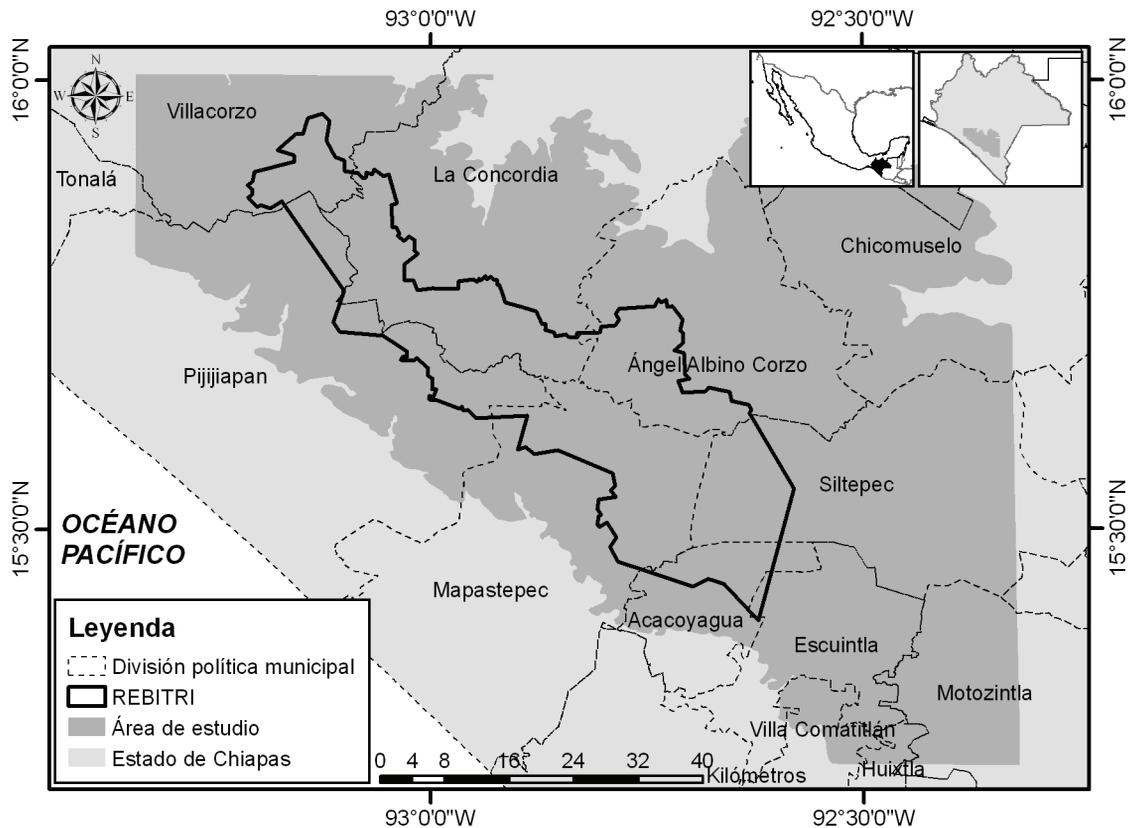


Figura 1. Localización de la REBITRI y área de influencia.

un taller en el que participaron investigadores de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y distintas Organizaciones No Gubernamentales como The Nature Conservancy, Pronatura Sur, A.C. y Biocores A.C. El objetivo del taller fue identificar conjuntamente los sitios o segmentos de los ríos resultantes del modelo más representativos para la prospección en campo. Las capas geográficas (escala 1:250,000, salvo líneas eléctricas y caminos: 1:50,000) fueron proporcionadas por el Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística (LAIGE) de ECOSUR. El formato original de las variables utilizadas fue vectorial, salvo el MDE (raster-25 m/píxel) de donde fue derivada la pendiente. La proyección de trabajo fue UTM en Datum WGS84.

Información obtenida de los ríos. Se muestrearon tramos de los siguientes ríos: a) Prusia, b) El Plan, c) Cuxtepeques, d) Negroito, de la cuenca Alto Grijalva, subcuencas Jaltenango (a) y Cuxtepeques (b, c y d); y e) El Rosario, subcuenca Cacaluta y cuenca Cintalapa. En cada muestreo se tomaron datos de localización, caracterización y paisaje (Tabla 2). Con esta información y la referente al gradiente altitudinal de las cartas topográficas impresas escala 1:50,000 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) claves D15A19, D15B11, D15B21 y D15B32 se obtuvieron los perfiles longitudinales y transversales como caracterización geomorfológica de cada tramo.

Trazado en planta e índices de paisaje. Este análisis consistió en conocer el dinamismo del cauce y de los componentes del ecosistema de ribera contiguos al mismo a través del tiempo, permitiendo entender la presencia de restos de bosque de ribera en zonas actualmente alejadas del cauce, la erosión permanente del río sobre uno de sus márgenes y la frecuencia de inundaciones en determinadas aéreas (González del Tanago & García de Jalón, 2007).

Se utilizaron como imágenes históricas (1996) las existentes en INEGI para los tramos de estudio, ortofotos escala 1:20,000 y resolución de 2 metros por píxel (claves D15B11 cuadrante D para el río Negroito y parte del tramo analizado del río Cuxtepeques; D15A19 cuadrante F para el río El Plan; y D15B32 cuadrante A para el río El Rosario), y fotografías aéreas correspondientes a las líneas de vuelo 439 para completar el análisis del río Cuxtepeques y 442 para el río Prusia, ambas a escala 1:37,500. Posteriormente fueron escaneadas y georreferenciadas a una resolución de 3 y 1 metros por píxel, respectivamente.

Las imágenes recientes (2007) de los tramos de análisis, se obtuvieron del software libre Google Earth 4.0 (2007). Se identificaron y guardaron en formato TIF para posteriormente asignarles referencia espacial a una resolución de 1 metro por píxel a las imágenes de El Plan y Negroito, 3 m para El Rosario, 20 m al Prusia

Tabla 1. Clasificación de prioridad para las variables utilizadas en el modelo SIG.

Capa temática	Atributo / categoría	Prioridad
Variables ambientales		
Pendientes (°)	0-10	Alta
	11-30	Media
	>31	Baja
Isoyetas (mm) de noviembre a abril	300-600	Alta
	150-299	Media
	75-149	Baja
Isoyetas (mm) de mayo a octubre	>2,600	Alta
	1,700-2,599	Media
	1,200-1,699	Baja
Días por periodo de lluvias de noviembre a abril	30-59	Media
	0-29	Baja
Días por periodo de lluvias de mayo a octubre	>90	Media
	60-89	Baja
Variables sociales		
Zonas REBITRI	Amortiguamiento	Alta
	Núcleo	Baja
Áreas Naturales Protegidas contiguas a la REBITRI	La Concordia, Zaragoza y La Frailesca	Alta
Núcleos de población (habitantes) ¹	956-2,398	Alta
	216-955	Media
	1-215	Baja
Red de caminos	Carreteras pavimentadas, puentes y terracerías	Alta
	Pistas aéreas, calles y brechas	Media
	Veredas	Baja
Líneas eléctricas	Alta tensión	Alta
	Baja tensión	Media
	Sin tensión determinada	Baja

¹ Zona de influencia de un kilómetro para los atributos Núcleos de población, Red de caminos y Líneas eléctricas.

y 90 m al Cuxtepeques. La variación en la resolución dependió del tamaño de superficie analizada. De todas las imágenes usadas, sólo la referente al 2007 del tramo del río Cuxtepeques presentó nubosidad en un 4% sobre los componentes del ecosistema analizados.

Con la finalidad de entender y explicar de manera cuantitativa los cambios en el dinamismo, tamaño y forma de cada componente del ecosistema (Tongway & Hindley, 2004), se obtuvieron los siguientes índices de configuración a nivel de cada componente fotointerpretado y del paisaje en general: 1) superficie, 2) índice de la forma media del área (IFM), y 3) tamaño medio (TM; Elkie *et al*, 1999). Como índices de composición se obtuvieron:

4) índice de diversidad de Shannon (IDS) a nivel de paisaje (Elkie *et al*, 1999) y 5) índice de sinuosidad del cauce (IS; Rosgen, 1996). La superficie, IFM, TM y el IDS fueron obtenidos mediante la extensión *Patch Analyst 2.2-Spatial Statistics* de ESRI ArcView GIS 3.3 (2002), mientras que el IS se obtuvo por medio de las funciones básicas del SIG.

Caracterización hidrológica. El régimen hidrológico de una cuenca es de gran importancia. Las variaciones del régimen natural de caudales en su magnitud, duración, temporalidad, frecuencia y tasa de cambio pueden ser factores de degradación en los ríos, tanto hidrológica y geomorfológicamente, así como sobre las comunidades biológicas que en ellos habitan (Richter, 1997).

Tabla 2. Información obtenida de los ríos muestreados.

Variables medidas	
Localización	Fecha de muestreo, nombre de cuenca, subcuenca y río, coordenadas y altitud del tramo, población / infraestructuras cercanas.
Caracterización	Uso del suelo observado, pendiente de laderas de influencia al cauce, pendiente y anchura del cauce y vegetación de orillas y riberas. De acuerdo con la clasificación de González del Tanago & García de Jalón (2007): tipo de valle, cauce, sustrato, granulometría, formas del lecho y si existe formación de dunas.
Paisaje	Heterogeneidad, calidad y degradación.
Observaciones adicionales	Posible afectación a infraestructuras humanas percibidas.

Según este autor, es de gran importancia hacer un análisis sobre la información hidrométrica captada por estaciones de aforo en la zona por al menos 20 años, así como hacer una búsqueda sobre la presencia de infraestructura hidráulica o hidroeléctrica que generalmente provocan cambios importantes en el régimen natural del caudal.

Sin embargo, ya que no existen estaciones hidrométricas en las microcuencas de estudio y con la finalidad de conocer la relación en la tendencia del escurrimiento interanual como indicador de alteración sobre la variabilidad del régimen hidrológico (González del Tanago & García de Jalón, 2001), se obtuvo la escorrentía media anual de cada microcuenca mediante el método descrito por Martínez-Méñez (2005) que consiste en utilizar la precipitación de la microcuenca, su superficie, y un coeficiente de escurrimiento adimensional tomado a partir del uso y textura del suelo, así como de la pendiente del terreno en el área de estudio.

Por medio de las funciones básicas del SIG, se digitalizó sobre el MDE el área de la microcuenca. El coeficiente de escurrimiento adimensional se determinó a partir de la pendiente en el terreno, de la capa temática de uso del suelo y vegetación del Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México y de la capa temática de edafología del INEGI, ambas a escala 1:250,000 (LAIGE, 2008). Se realizó la estimación media anual de la escorrentía superficial de cada año completo de 1987-2007 con la precipitación diaria obtenida de las estaciones climatológicas más cercanas a cada microcuenca (CONAGUA, 2008).

Por lo que respecta a las obras de infraestructura hidráulica e hidroeléctrica, se buscó su presencia en las microcuencas mediante las capas temáticas correspondientes a la hidrología superficial escala 1:250,000 de escurrimientos superficiales y lagos (LAIGE, 2008) y durante los recorridos en campo.

RESULTADOS

El mapa resultante del SIG muestra la zona de estudio según su grado de degradación potencial (Fig. 2), en el cual la superficie

con mayor degradación se presenta en el sureste de la REBITRI contiguo a la zona núcleo "Ovando", que está representada con un grado medio. El resto de las zonas núcleo de la reserva figuran con grado bajo de degradación potencial.

Casi todos los casos estudiados se caracterizaron geomorfológicamente como valles estrechos en forma de U (Fig. 3), entre los tipos 1-A, 1-C y 2, con tipo de cauce de montaña. Las excepciones fueron el tramo del río El Rosario que en partes se presentó como torrente de alta montaña y en el Cuxtepeques de piedemonte. El tipo de sustrato determinado fue de granulometría gruesa (≥ 6 cm de diámetro), las formas del lecho de saltos y pozas, rápidos continuos y rápidos y remansos, con paisaje fluvial en buenas condiciones en general. En todos los tramos hubo infraestructuras cercanas al cauce, el uso del suelo fue mayoritariamente forestal, aunque hubo presencia de áreas de pastoreo, laderas deforestadas y cafetales. La calidad percibida del paisaje fluvial varió de regular a buena, encontrando en todos los casos erosión en las orillas del cauce.

Por lo que respecta a los perfiles longitudinales (Fig. 4), los tramos de muestreo se encuentran dentro de un intervalo de elevación que varió de 728 a 1,150 msnm. Las longitudes de los tramos fueron variables (820 a 10,240 m). Los perfiles y pendientes longitudinales de cada tramo son acordes con los tipos de cauce encontrados.

De acuerdo con las imágenes utilizadas para el análisis del paisaje y trazado en planta, los ecosistemas riparios de cada tramo en 1996 y 2007 incluyeron de 3 a 6 componentes en el paisaje (bosque, ladera deforestada, zona de pastoreo, cauce, canal con agua e infraestructuras) y los índices obtenidos de configuración y composición variaron en menor o mayor grado (Tablas 3, 4, 5, 6 y 7).

Con respecto a la escorrentía media anual obtenida, ninguna de las microcuencas de análisis mostró relación significativa con respecto a su variabilidad y tendencia en el periodo analizado. La microcuenca del Río Prusia presentó una tendencia positiva, la referente al Río El Rosario estable, mientras que negativa en las microcuencas El Plan, Cuxtepeques y Negrito. Además, en

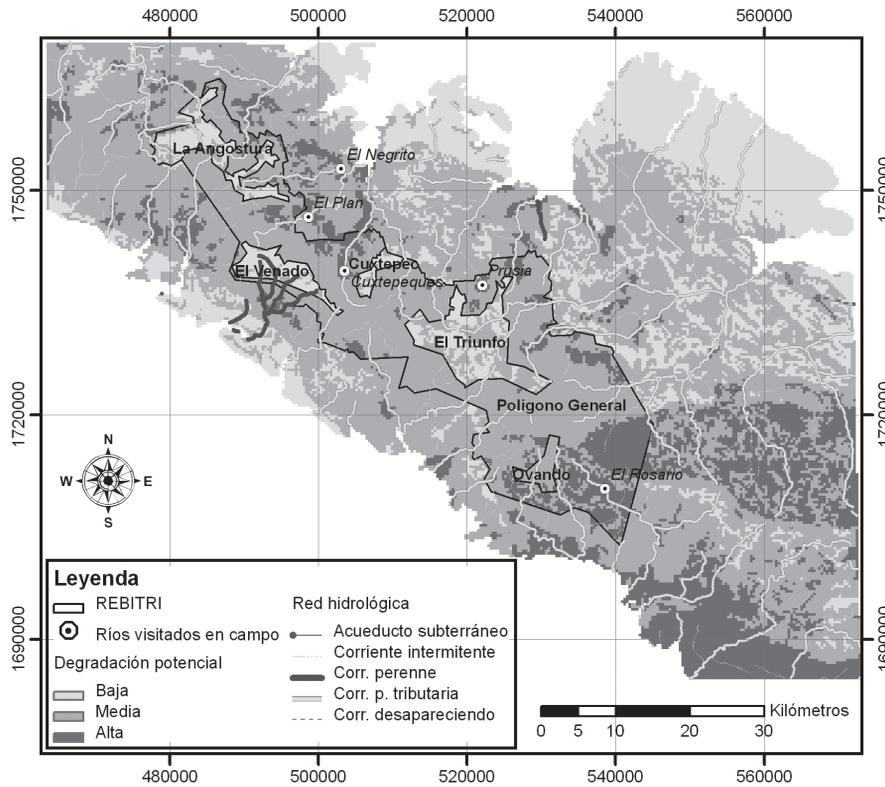


Figura 2. Zonas de degradación potencial en la REBITRI y su área de influencia para su restauración hidrológica.

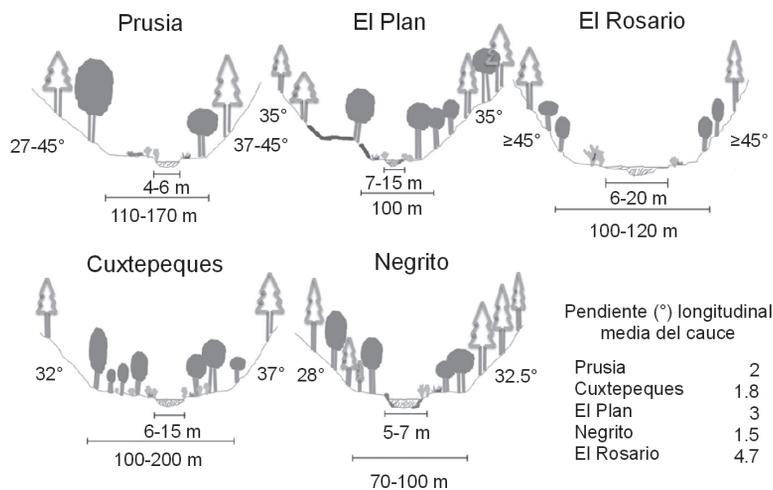


Figura 3. Perfiles transversales y pendiente longitudinal media del cauce en cada tramo de río muestreado.

ninguna microcuenca se encontraron obras de infraestructura hidráulica o hidroeléctrica que obstruyeran el escurrimiento del agua en sus ríos, salvo puentes peatonales o para vehículos que comunican con ambos lados del cauce a comunidades rurales, por lo cual son de muy bajo tránsito.

Diagnóstico. En general, las condiciones de los tramos analizados son buenas. Hidrológicamente todos los ríos muestreados con-

servan un régimen pluvial en su caudal circundante. El Plan, Cuxtepeques, Negrito y El Rosario variaron geomorfológicamente en su cauce como respuesta a la precipitación, escorrentía del agua a través de las laderas deforestadas y a su pendiente longitudinal. Como una combinación de atributos biológicos-geomorfológicos, hay una carencia de cobertura vegetal dentro del cauce, a excepción del Cuxtepeques que en sus llanuras de inundación se ha

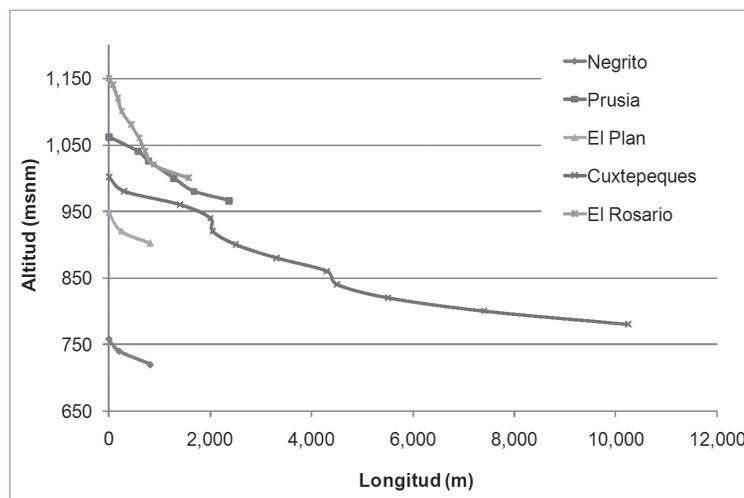


Figura 4. Perfiles longitudinales de los tramos en los ríos estudiados.

Tabla 3. Índices del paisaje obtenidos para los componentes del ecosistema en el tramo del Río Prusia.

Componente del paisaje	Superficie (ha)	TM (ha)	IFM	IDS	IS
Año de análisis 1996					
Bosque	123.6395	41.2132	1.7532	—	—
Ladera deforestada	22.5838	7.5279	2.8420	—	—
Zona de pastoreo	5.5412	5.5412	1.3670	—	—
Cauce	9.3660	1.1707	3.1189	—	1.335
Canal con agua	2.0624	2.0624	12.0147	—	1.902
Infraestructura	2.8055	0.4676	1.1947	—	—
Paisaje entero	165.9984	7.5454	2.6949	1.5691	—
Año de análisis 2007					
Bosque	126.1796	42.0599	1.7279	—	—
Ladera deforestada	15.6403	7.8201	2.5145	—	—
Zona de pastoreo	6.8284	6.8284	2.1357	—	—
Cauce	7.7378	0.8598	2.6473	—	1.305
Canal con agua	1.9765	1.9765	12.3181	—	1.908
Infraestructura	7.6357	0.6942	1.4023	—	—
Paisaje entero	165.9984	6.1481	2.3673	1.6442	—

establecido vegetación secundaria tras el paso del huracán Stan. En el tramo del Río Prusia a pesar de haber condiciones similares de precipitación, escorrentía superficial por la microcuenca y de pendiente longitudinal, presenta una disminución en la superficie del cauce. Esto debido a que en sus laderas de influencia ha incrementado la superficie del bosque y disminuido la referente a las áreas deforestadas.

Tabla 4. Índices del paisaje obtenidos para los componentes del ecosistema en el tramo del Río El Plan.

Componente del paisaje	Superficie (ha)	TM (ha)	IFM	IDS	IS
Año de análisis 1996					
Bosque	29.1383	5.8277	2.0965	—	—
Ladera deforestada	15.3228	5.1076	1.7399	—	—
Cauce - canal con agua ²	2.0124	2.0124	6.0783	—	1.57
Infraestructura de finca	0.9137	0.1523	1.2205	—	—
Paisaje entero	47.3872	3.1591	1.9402	1.1329	—
Año de análisis 2007					
Bosque	28.3584	4.7264	1.6886	—	—
Ladera deforestada	12.0812	6.0406	2.1843	—	—
Cauce	4.7500	4.7500	8.5930	—	1.53
Canal con agua	1.5844	1.5844	8.1418	—	1.89
Infraestructura de finca	0.6133	0.0767	1.1253	—	—
Paisaje entero	47.3874	2.6326	2.2354	1.4334	—

² Cauce - canal con agua: En las imágenes de 1996 de los tramos de los ríos El Plan, Negrito y El Rosario no fue posible diferenciar plenamente un componente del otro, por lo que en estos casos fueron digitalizados y tratados como un componente único. Sin embargo, en las imágenes de 2007, para todos los tramos se logró plena diferenciación entre los componentes.

DISCUSIÓN

El análisis referente a los perfiles longitudinales y transversales refleja, especialmente en los tramos de los ríos Prusia, Cuxtepeques y El Rosario, que poseen mayor longitud de muestreo, el

Tabla 5. Índices del paisaje obtenidos para los componentes del ecosistema en el tramo del Río Cuxtepeques.

Componente del paisaje	Superficie (ha)	TM (ha)	IFM	IDS	IS
Año de análisis 1996					
Bosque	682.4182	75.8242	1.9585	—	—
Ladera deforestada	116.3519	11.6352	2.0299	—	—
Cauce	82.1326	41.0663	9.3825	—	1.208
Canal con agua	11.3129	11.3129	17.6189	—	1.260
Infraestructura	4.1324	2.0662	1.3046	—	—
Paisaje entero	896.3481	37.3478	3.2049	1.3583	—
Año de análisis 2007					
Bosque	640.8688	213.6229	2.9758	—	—
Ladera deforestada	166.1953	11.8711	1.6627	—	—
Cauce	66.6756	33.3378	9.8957	—	1.200
Canal con agua	16.2459	16.2459	14.0643	—	1.209
Infraestructura	6.3596	0.9085	1.0988	—	—
Paisaje entero	896.3451	33.1980	2.7316	1.3853	—

Tabla 6. Índices del paisaje obtenidos para los componentes del ecosistema en el tramo del Río Negroito.

Componente del paisaje	Superficie (ha)	TM (ha)	IFM	IDS	IS
Año de análisis 1996					
Bosque	11.0122	11.0122	4.1516	-	-
Ladera deforestada	6.5261	1.3052	1.6790	-	-
Cauce – canal con agua	1.1301	1.1301	5.8523	-	1.39
Paisaje entero	18.6684	2.6669	2.6284	1.0425	-
Año de análisis 2007					
Bosque	10.6213	5.3107	2.5092	-	-
Ladera deforestada	4.8391	4.8391	2.1922	-	-
Cauce	2.3375	2.3375	7.0549	-	1.06
Canal con agua	0.8705	0.8705	6.3514	-	1.35
Paisaje entero	18.6684	3.7337	4.1234	1.3318	-

“escalonamiento” longitudinal del cauce, producto de la potencia hidráulica generada en ellos y visible en sus secciones transversales. Esto explica la capacidad de erosión y transporte de una corriente para un determinado sustrato del lecho y un determinado tamaño de sedimento erosionado aguas arriba (Vizcaíno *et al.*, 2003). Lo anterior representa problemas de azolvamiento en tramos con escasa pendiente longitudinal, sobre todo en aque-

Tabla 7. Índices del paisaje obtenidos para los componentes del ecosistema en el tramo del Río El Rosario.

Componente del paisaje	Superficie (ha)	TM (ha)	IFM	IDS	IS
Año de análisis 1996					
Bosque	260.1562	32.5195	2.0740	—	—
Ladera deforestada	107.8017	8.9835	1.4921	—	—
Cauce - canal con agua	3.5169	3.5169	13.2828	—	2.1
Infraestructura	6.5200	6.5200	1.1691	—	—
Paisaje entero	377.9948	17.1816	2.2250	1.0590	—
Año de análisis 2007					
Bosque	217.8167	12.8127	1.6563	—	—
Ladera deforestada	133.1707	8.8780	1.6402	—	—
Cauce	20.4180	5.1045	6.0194	—	2.59
Canal con agua	2.7901	2.7901	14.7998	—	2.07
Infraestructura	3.7993	0.3799	1.0970	—	—
Paisaje entero	377.9948	8.0424	2.1832	1.3513	—

llos sitios fuera del área de estudio donde existe infraestructura hidráulica o hidroeléctrica, modificando la relación erosión-sedimentación y la variabilidad intra e interanual del régimen de caudales (Richter, 1997; Rosgen, 1994).

El análisis del paisaje realizado sobre cada tramo arrojó que los ecosistemas riparios han sido cambiantes en el periodo de análisis. La relevancia de estos resultados es que la heterogeneidad y constante dinamismo de los ecosistemas fluviales propicia su bienestar (Rohde, 2004; Rosgen, 1994, 2006; Tongway & Hindley, 2004). Estas condiciones hidrogeomorfológicas y ecológicas determinan la capacidad de resiliencia de los ríos para sostenerse ante eventos de alta precipitación (estrés ambiental), que provocan un incremento sustancial en las avenidas de agua que circundan por los cauces (Palmer *et al.*, 2005).

Hidrológicamente, todos los tramos objetos de estudio tuvieron caudales circundantes que dependen totalmente de la precipitación, no hay perturbación antrópica evidente debido a que no existen obras de infraestructura hidráulica o hidroeléctrica que almacenen, obstruyan o alteren la variabilidad natural del régimen hidrológico, lo que implica salud hidrológica-ecológica (Richter, 1997; Rosgen, 1994; 1996; 2006). Atributos hidrológicos como magnitud, duración, temporalidad, frecuencia y tasa de cambio en los caudales circundantes son regulados por el régimen pluvial de la zona y de ellos dependen los componentes geomorfológicos inmersos dentro del cauce, así como la flora y la fauna que ahí habita (García de Jalón, 2007; Richter, 1997).

Frente a la crecida de los ríos e inundaciones tras eventos de precipitación extrema, el factor determinante para definir las

áreas de mayor vulnerabilidad, es el cambio de uso del suelo por la deforestación en las laderas de influencia a los cauces, esto propicia mayor velocidad y volumen de agua escurrida, condiciones de erosión en las laderas y los ríos, y su sedimentación excesiva aguas abajo (Richter, 2000; Tongway & Hindley, 2004). Sin embargo, tal y como señala Bradshaw *et al.* (2007), las características edáficas del margen contiguo de los ríos, así como la pendiente longitudinal de los cauces (Vizcaíno *et al.*, 2003), son otros factores que tienen que ver en gran medida con el reclamo de espacio de los tramos, debido a la necesidad de regular y disipar la energía hidráulica que los caudales circulantes llevan y que se ve reflejado en la dinámica de los procesos de erosión y sedimentación dentro de los cauces. Por lo tanto, la vulnerabilidad creada tras eventos de alta precipitación, es específicamente con repercusiones sociales. Ecológicamente los ríos mantienen un buen estado debido a su heterogeneidad geomorfológica, producto del régimen pluvial en sus caudales y visible en el análisis sobre el dinamismo de cada componente del ecosistema ripario.

Finalmente, para mantener la resiliencia de los ríos en la zona, es recomendable realizar un programa de restauración forestal, así como obras de conservación de suelos en las laderas desprovistas de vegetación arbórea, además de evitar que siga ocurriendo un cambio de uso en el suelo, de forma conjunta entre la parte técnico-administrativa de la REBITRI, con Organizaciones No Gubernamentales y las comunidades rurales de esta área natural. Actuaciones de este tipo deben ser consensuadas con los habitantes de la zona, ya que ellos juegan un papel clave en el éxito de cualquier proyecto en el campo, siendo los principales beneficiarios de que los ríos mantengan una relación de erosión-sedimentación equilibrada y las aguas se mantengan dentro del cauce y de sus zonas inundables.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Fondo de la Conservación El Triunfo, la Dirección Administrativa de la REBITRI, Biodiversidad: Conservación y Restauración A.C., El Colegio de la Frontera Sur y a la Universidad de Alcalá de Henares, por el apoyo en diferentes etapas de la investigación.

REFERENCIAS

- BRADSHAW, C. J. A., N. S. SODHI, K. S. H. PEH & B. W. BROOK. 2007. Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology* 13: 2379-2395.
- BRUIJNZEEL, L. A. 1990. *Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review*. International Hydrological Program (UNESCO). Netherlands. 230 p.
- CONACYT-COCYTECH. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Chiapas. 2008. *Zonas afectadas por el huracán Stan en las regiones Istmo-Costa, Sierra y Soconusco (investigación para su ordenamiento)*. ECOSUR, CONACYT-COCYTECH, Gobierno del estado de Chiapas, UNICACH, CONANP e IDESMAC. 1ra. Edición. México. 340 p.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2008. Estaciones climatológicas 7037 "Finca Cuxtepeques", 7054 "Finca Prusia" y 7390 "Cacaluta". *Información proporcionada por la CONAGUA*.
- ELKIE, P. C., R. S. REMPEL & A. P. CARR. 1999. *Patch analyst user's manual: A tool for quantifying landscape structure*. Northwest Science and Technology. Ontario. Canada. 28 p.
- FRYIRS, K. & G. J. BRIERLEY. 2009. Naturalness and place in river rehabilitation. *Ecology and Society* 14(1): 20. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art20/>.
- GARCÍA, E. 1987. *Modificaciones al sistema de clasificación de Koeppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. 4ta. Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 217 p.
- GARCÍA DE JALÓN, D. 2007. Restauración de Riberas. En Rey Benayas J.M., T. Espigares Pinilla & J. M. Nicolau Ibarra (Eds.). *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos*. Universidad de Alcalá. 2da. Edición, pp: 141-156.
- GONZÁLEZ DEL TANAGO, M. & D. GARCÍA DE JALÓN. 2001. *Restauración de ríos y riberas*. Fundación Conde del Valle de Salazar-Mundi-Prensa. España. 319 p.
- GONZÁLEZ DEL TANAGO, M. & D. GARCÍA DE JALÓN. 2007. *Restauración de ríos. Guía metodológica para la elaboración de proyectos*. Ministerio de medio ambiente. España. 318 p.
- HEWLETT, J. D. 1982. Forests and floods in the light of recent investigation. *Proceedings Canadian Hydrological Symposium*. Fredericton, NB. Canadá, pp. 543-559.
- LAIGE. Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística, El Colegio de la Frontera Sur. 2008. Capas temáticas del medio natural y social en el estado de Chiapas. Disponible en página web: <http://200.23.34.25/> (consultado 13 de septiembre de 2008).
- MARTÍNEZ-MÉNEZ, M. 2005. Estimación de variables hidrológicas. SAGARPA, INCA Rural y Colegio de Posgraduados. Curso Taller "Desarrollo de capacidades orientadas al aprovechamiento del suelo, agua y vegetación". Módulo II – 05 "Estimación de escurrimientos". México.
- PALMER, M. A., E. S. BERNHARDT, J. D. ALLAN, P. S. LAKE, G. ALEXANDER, S. BROOKS, J. CARR, S. CLAYTON, C. N. DAHM, J. FOLLSTAND SHAH, D. L. GALAT, S. G. LOSS, P. GOODWIN, D. D. HART, B. HASSETT, R. JENKINSON, G. M. KONDOLF, R. LAVE, J. L. MEYER, T. K. O'DONNELL, L. PAGANO & E. SUDDUTH. 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology* 42: 208-217.
- RICHTER, B. D. 1997. How much water does a river need? *Freshwater Biology* 37: 231-249.
- RICHTER, M. 2000. The ecological crisis in Chiapas: A case study from Central America. *Mountain Research and Development* 20: 332-339.

- ROHDE, S. 2004. River restoration: Potential and limitations to re-establish riparian landscapes. Assessment and planning. PhD thesis. University of Hanover. Germany. 133 p.
- ROSGEN, D. L. 1994. A stream classification system. *Catena* 22: 169-199.
- ROSGEN, D. L. 1996. Field survey procedures for characterization of river morphology. Disponible en la página web: http://www.wildland-hydrology.com/html/references_.html (consultado el 7 de octubre de 2008).
- ROSGEN, D. L. 2006. River restoration using a geomorphic approach for natural channel design. *Proceedings of the eighth federal interagency sedimentation conference (8thFISC)*. Reno, NV. USA, pp. 394-401.
- SAHIN, V. & M. J. HALL. 1996. The effects of afforestation and deforestation on water yields. *Journal of Hydrology* 178(1-4): 293-309.
- SEMARNAP. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 1998. *Programa de manejo de la reserva de la biósfera El Triunfo*. 1ra. Edición. Instituto Nacional de Ecología. México. 109 p.
- TONGWAY, D. J. & N. L. HINDLEY. 2004. Landscape function analysis: procedures for monitoring and assessing landscapes. *CSIRO Sustainable Ecosystems*. Australia, 82 p.
- VIZCAÍNO, P., F. MAGDALENO, A. SEVES, S. MERINO, M. GONZÁLEZ DEL TANAGO & D. GARCÍA DE JALÓN. 2003. Los cambios geomorfológicos del río Jarama como base para su restauración. *Limnética* 22 (3-4): 1-8.

Recibido: 23 de julio de 2009.

Aceptado: 24 de mayo de 2010.