



Relación entre la vegetación ribereña arbórea remanente y los rasgos de la red fluvial en arroyos de cabecera

Relationship between remnant tree riparian vegetation and fluvial network traits in headwater streams

Adriana Carolina Flores-Díaz^{1*} y Juan Martínez-Cruz²

¹ Universidad Iberoamericana. Centro Transdisciplinar Universitario para la Sustentabilidad. Ciudad de México, México.

² Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad. Morelia, Michoacán, México.

* Autora de correspondencia. adriana.flores@ibero.mx

RESUMEN

Estudiar la vegetación ribereña permite comprender los patrones de diversidad florística a lo largo de la red fluvial y, dado el nivel de transformación que presentan, es necesario generar conocimiento que guíe su recuperación. Este trabajo caracterizó la vegetación arbórea ribereña remanente en 30 sitios ubicados en arroyos de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, a partir de la descripción de la estructura, la riqueza de especies y su contexto geográfico (elevación, precipitación, orden hidrológico y cubierta del suelo), e identificó las especies potencialmente invasoras. La elevación de los sitios mostró estar asociada con la precipitación, el orden hidrológico y la cubierta del suelo que es atravesada por los arroyos. Se registraron 56 especies, principalmente arbóreas, cuya densidad y altura se incrementó con la elevación. Entre las especies con mayor valor de importancia estuvieron *Roldana angulifolia*, *Cestrum fulvescens*, *Ilex tolucana*, *Alnus acuminata*, *Buddleja cordata* y *Fraxinus udbei*. Surgieron cuatro grupos fisonómicos en función del número de especies, géneros y familias, número de ramas, así como de número, altura y diámetro de los individuos. Se encontró un alto recambio de especies entre los sitios principalmente con los ubicados a mayor elevación. La presencia de especies potencialmente invasoras mostró estar asociada con la densidad de individuos, con el índice de diversidad de Shannon (H') y con rasgos geográficos como la elevación y el orden hidrológico. Las riberas analizadas muestran intervención humana, siendo necesario distinguir los impactos de la alteración en el caudal de aquellos asociados al cambio de cubierta del suelo.

PALABRAS CLAVE: caudales, ecosistemas dulceacuícolas, manejo de cuencas, sistemas riparios.

ABSTRACT

Studying riparian vegetation allows understanding the floristic diversity patterns along the fluvial network, and because of the level of transformation they show, it is essential to generate knowledge to guide further recovery. This paper analyzed the remaining riparian tree vegetation in 30 sites in streams located in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve, by describing the structure, species richness, and geographic setting (elevation, precipitation, hydrological order, and land cover), and by identifying possible invasive species. Elevation of the sites were associated with precipitation, hydrologic order and land cover being crossed by the streams. Fifty-six species were recorded, mostly trees, which increased in density and height with elevation. Some of the species with the highest importance value include *Roldana angulifolia*, *Cestrum fulvescens*, *Ilex tolucana*, *Alnus acuminata*, *Buddleja cordata*, and *Fraxinus udbei*. Four physiognomic groups emerged based on the number of species, genera and families, the number of branches, as well as the number, height, and diameter of individuals. High species turnover was found between sites, mainly with those located at higher elevations. The occurrence of potentially invasive species was shown to be associated with the density of individuals, with Shannon's diversity index (H'), and with geographic attributes such as elevation and hydrological order. The analyzed riverbanks show human intervention, being necessary to discriminate impacts associated with flow alteration from those related to land cover change.

KEYWORDS: discharge, freshwater ecosystems, watershed management, riparian systems.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la vegetación ribereña permite comprender sus interacciones con la dinámica hidrológica y geomorfológica a lo largo de la red fluvial (Naiman et al., 2005); así como las decisiones y prácticas de los diferentes actores sociales en el territorio (Flores-Díaz et al., 2014). Wohl et al. (2021) describen a las zonas fluviales como altamente heterogéneas y con patrones de conectividad asociada a la historia regional, resultando en sistemas resilientes en constante reconfiguración. Alrededor del mundo las riberas han sido profundamente transformadas (Vázquez et al., 2015; Hughes y Vadas, 2021) y, dada la importancia que tienen para los ecosistemas dulceacuícolas y para la sociedad, resulta muy relevante generar conocimiento que permita guiar su recuperación (Naiman et al., 2002; Naiman et al., 2005; Tickner et al., 2020). Los ríos y sus riberas se encuentran bajo presión por factores como el uso del espacio ribereño para la producción agropecuaria, la construcción de viviendas, el acceso al agua, la construcción de caminos y la regulación del caudal (Dudgeon et al., 2006; Flores-Díaz, 2014; Postel y Richter, 2003; Singh et al., 2021). La presencia de árboles, arbustos y restos leñosos en el canal y en la ribera ha mostrado ofrecer beneficios como el incremento de la diversidad de hábitats y especies, además de la provisión de espacios más frescos en comparación con tramos desprovistos de vegetación (Garner et al., 2014; Bowler et al., 2012).

La vegetación ribereña está fuertemente influenciada por la variación estacional del caudal (Moore y Richardson, 2012; Naiman y Décamps, 1997; Poole, 2002), resultando en patrones locales que la distinguen de la vegetación adyacente (Naiman y Décamps, 1997). Las plantas propias de la ribera tienen características que favorecen la estabilización de los bancos del río, toleran las crecidas y los cambios en los patrones de flujo (Gurnell et al., 2012; Gurnell y Grabowski, 2016), e indican actividad hidrológica (Naiman, et al., 2005).

Estudios sobre la vegetación ribereña describen su asociación con rasgos geográficos como la elevación

(Camacho-Rico et al., 2006); su relación con la temporalidad de los arroyos a los que está asociada, los patrones de flujo de la red hídrica (Aguilar y Ferreira, 2005); los impactos derivados de la regulación del caudal (Postel y Richter, 2003); así como la importancia del conocimiento local sobre este sistema (Flores-Díaz, 2014). En diversos paisajes transformados, la vegetación ribereña constituye los únicos fragmentos de bosque, o bien de árboles aislados, que sostienen funciones críticas para la biodiversidad y los ecosistemas (Giraldo et al., 2022), ya que los árboles remanentes participan en procesos como la provisión de semillas y el mantenimiento de la conectividad (Von Thaden et al., 2022). La pérdida de bosques ribereños asociada a los cambios en el uso del suelo y al manejo del agua, cambia la dinámica de los ríos (Luque y González-Trujillo, 2021) y favorece la presencia de especies invasoras (Tolkinen et al., 2020) y la capacidad de retención de sedimentos (Argueta Navarrete, 2019) por los cambios en el patrón de inundaciones.

La red hidrológica que cruza el territorio de ejidos y comunidades indígenas, ubicados en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca (RBMM), cuyo programa de manejo carece de lineamientos para los ríos y riberas fluviales (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2001), ha mantenido procesos de cambio de uso del suelo de bosques a cultivos como la zarzamora y el aguacate (Hernández, 2018). Esta elevada demanda de agua para uso doméstico y agrícola ha dado pie a la existencia de múltiples formas de suministro como mangueras y canales de riego, siendo desconocido el impacto de estas prácticas sobre los ríos. Por lo anterior, esta zona representa una oportunidad para el estudio de la vegetación remanente y su relación con los patrones de los ríos y escurrimientos y, con ello, generar conocimiento situado, no solo por la unicidad de cada tramo fluvial (Gurnell y Grabowski, 2016; Hough-Snee, 2016; Moore y Richardson, 2003), sino por la importancia que tiene generar lineamientos acordes con el contexto local.



OBJETIVOS

Caracterizar la estructura y composición de la vegetación remanente, su relación con la elevación, la precipitación, el orden hidrológico y la temporalidad del flujo de agua; así como la diversidad de especies principalmente arbóreas, y distinguiendo a aquellas que son potencialmente invasoras. Este trabajo busca contribuir a la conservación dulceacuícola en una zona importante para la biodiversidad global, que es la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (RBMM), en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio es una franja montañosa mexicana ubicada al noreste de la ciudad de Zitácuaro, Michoacán (Fig. 1); cabecera del río San Juan Zitácuaro, y forma parte de la cuenca del Río Balsas. Se encuentran inmersas en esta área las comunidades indígenas de Francisco Serrato, Carpinteros y Curungueo.

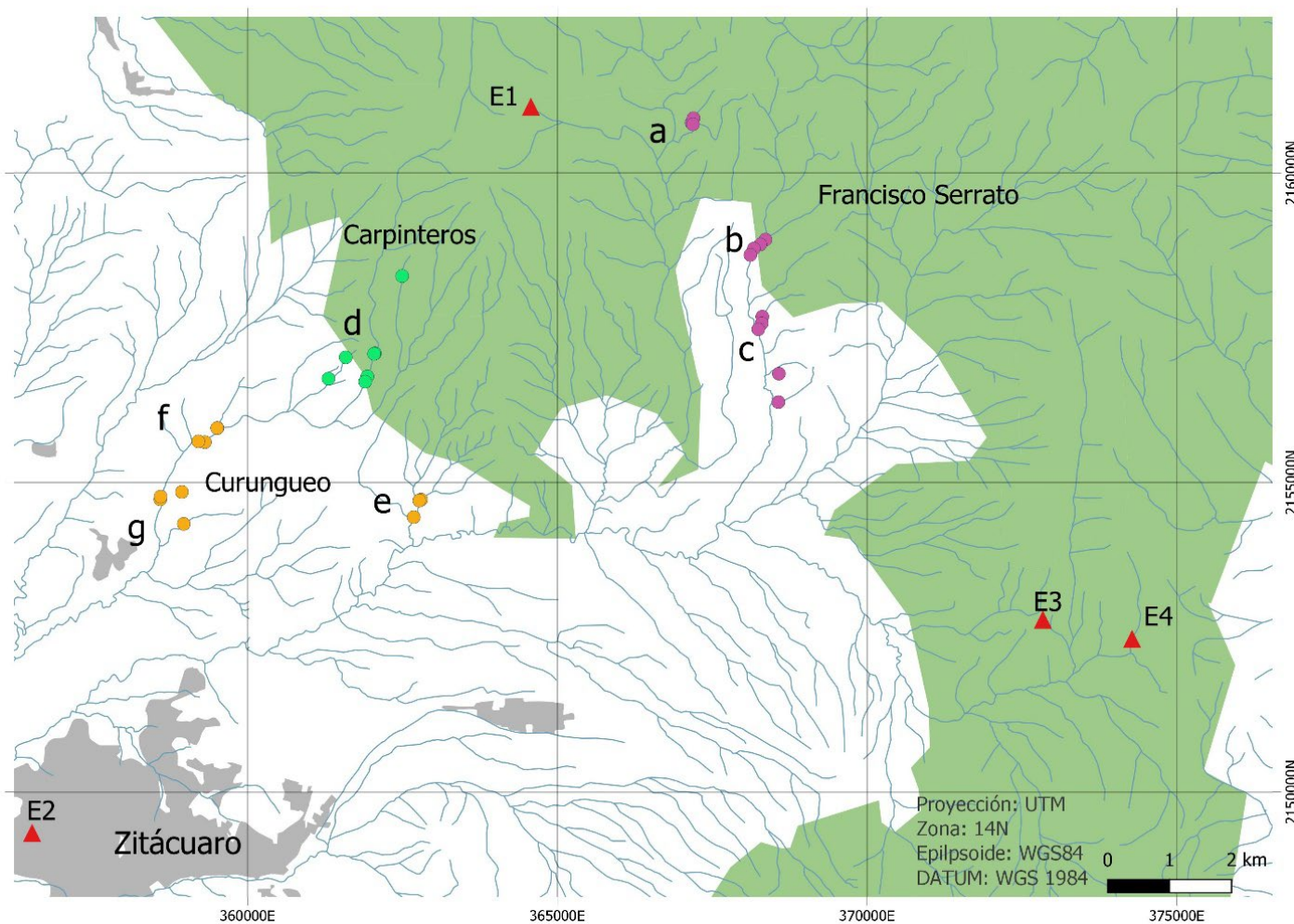


FIGURA 1. Ubicación de las redes (a – g) y sitios (círculos) en Francisco Serrato, Curungueo y Carpinteros.

La red hídrica está representada con la línea azul. Los triángulos indican estaciones meteorológicas (E1: Monarca II, E2: Zitácuaro, E3: Lindero, E4: Cuesta del Carmen). El polígono verde indica la zona de amortiguamiento de la RBMM, la Ciudad de Zitácuaro en gris.

Caracterización de los sitios. Los conjuntos vectoriales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2010), escala 1:50 000 permitieron identificar los arroyos en la cabecera de la cuenca (de la red hidrológica) y asignarles orden hidrológico de 1^{er} a 3^{er} orden, por ser cabecera de cuenca y de acuerdo con los criterios de Strahler (1957); además se consideró el factor de la temporalidad. En campo se registró la altitud y, para la definición de uso del suelo y vegetación, se utilizaron las categorías propuestas por Mas et al. (2017). La precipitación media anual fue interpolada utilizando la información de las 15 estaciones climáticas descritas en Hernández (2018) y analizadas en el sistema de información geográfica QGIS (2020) con la herramienta *Thin plate spline* (Donato y Belongie, 2002). Los tramos de arroyos analizados fueron agrupados en función de la red hidrológica a la que pertenecieran y del ejido o comunidad en que estuvieran ubicados: Carpinteros y Curungueo, y los parajes La Junta, Xorejé y Tamejé de Francisco Serrato (Fig. 1).

Muestreo de vegetación de la ribera. En la vegetación ribereña arbórea remanente se realizó un muestreo sistemático siguiendo los criterios de Sánchez-Velásquez & Pineda (2000) con transectos de 100 m paralelos al río por 3 m de ancho. En cada sitio se midieron con una cinta métrica solo los árboles con perímetro a la altura del pecho ≥ 10 cm; las alturas individuales fueron estimadas con un medidor láser DIS – 62 (± 1 mm). Las morfoespecies fueron colectadas y enviadas al herbario del Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES – UNAM) para su herborización, la determinación se hizo mediante la consulta de bases de datos florísticos como la de Jstor (s.f.). En sitios dominados por alguna especie arbustiva o herbácea, esta se determinó y se analizó su valor de importancia (descrito en la siguiente sección) por considerarse potencialmente invasoras (Richardson y Pyšek, 2004); entendidas como especies ajenas a la ribera y cuya presencia es dominante en un sitio.

Análisis. El valor de importancia (VI) de cada especie (área basal, altura y densidad de individuos) (Matteucci y Colma, 1982) fue estimado para cada sitio ($n = 30$) y para la red

hidrológica ($n = 7$). Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para sintetizar las variables anteriormente señaladas y un agrupamiento jerárquico para evidenciar los posibles rasgos fisonómicos compartidos (descritos en la sección correspondiente), utilizando las funciones *princomp* y *hclust* de los programas R v.4.0.3 (R Core Team, 2020) y Rstudio v.1.1.1093 (RStudio Team, 2021).

La diversidad alfa fue calculada (Magurran, 2004) con Biodiversity Pro [®] (McAleece et al., 1997), a partir del índice de Shannon (ecuación 1).

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \quad (1)$$

donde:

p_i : proporción de individuos de la i -ésima especie

El valor de diversidad de las redes fue comparado con un análisis de rarefacción para S con Past[®]. El recambio de especies entre sitios (diversidad beta) se estimó con el índice de Simpson (ecuación 2).

$$\beta\text{SIM} = (1-A) / (\min(B, C) + A) \quad (2)$$

donde:

A : cantidad de especies compartidas entre dos muestras

B y C : número de especies registradas en un sitio

\min : valor mínimo de especies restringidas en las muestras comparadas (B o C)

Este índice permite evidenciar las diferencias en la composición de especies entre sitios (Koleff et al., 2003; Koleff, 2005). La diversidad beta también fue estimada con el índice de Sørensen cuantitativo (SSOR), usando EstimateS (Colwell, 2005), con base en la ecuación 3, de Moreno (2001).

$$\text{SSOR} = 2pN / (aN + bN) \quad (3)$$

donde:

aN y bN : número total de individuos en los sitios A y B , respectivamente

pN : sumatoria de la densidad más baja registrada de especies compartidas



Se analizaron las relaciones entre la cubierta del suelo, la precipitación y el orden hidrológico, con los índices de diversidad y la presencia de especies potencialmente invasoras, utilizando modelos lineales generales y generalizados, con las funciones *glm* y *lm* del software R v.4.0.3 (R Core Team, 2020).

RESULTADOS

Características del conjunto de tramos analizados. Los sitios analizados están ubicados en una zona donde la

precipitación media anual (1020 mm – 1175 mm) varía de acuerdo con la elevación (1920 m – 2867 m) ($n = 30$, $R^2 = 0.83$). En las partes más elevadas y lluviosas se encuentran bosques de pino-encino y oyamel, y hacia las medias se incrementan la agricultura de temporal y los cultivos perennes (Tabla 1). Los arroyos permanentes ($n = 14$) son de orden hidrológico más alto ($X^2 = 15.787$, $df = 2$, $p < 0.01$); mientras los arroyos de orden menor son en su mayoría intermitentes y están en zonas más elevadas que los perennes.

TABLA 1. Características geográficas, riqueza e índice de Shannon-Weiner de los sitios analizados de la cuenca San Juan Zitácuaro.

Comunidad indígena	Red	Sitio	OH*	Temporalidad**	Cubierta del suelo***	Elevación (m s.n.m.)	Precipitación anual (mm)	Familias	Géneros	Especies	Shannon H'
Francisco Serrato	a: La Junta	Junta2	1	I	BPE/O	2867	1175	8	10	10	0.72
		Junta3	1	I	BPE/O	2837	1174	6	7	7	0.54
		Junta1	1	I	BPE/O	2780	1174	4	6	7	0.67
	b: Xorejé	Xorejel	3	P	BPE	2715	1129	5	6	7	0.59
		Xoreje2	3	P	BPE	2656	1128	5	5	5	0.6
		Xoreje3	3	P	BPE	2640	1130	4	4	4	0.53
		Xoreje4	3	P	BPE	2619	1129	3	3	3	0.47
	c: Tamejé	Tam3	1	I	AT	2510	1108	4	5	5	0.64
		Tam5	1	I	AT	2497	1105	4	4	4	0.52
		Tam4	1	I	AT	2488	1106	2	2	2	0.3
Tam2		1	I	AT	2470	1078	5	6	7	0.71	
Carpinteros	d: Carpin	Tam1	1	I	AT	2051	1087	5	5	5	0.64
		Carp1	1	I	BPE	2587	1129	7	9	11	0.86
		Carp5	1	I	BPE	2333	1098	11	11	12	0.86
		Carp4	1	I	BPE	2179	1089	9	9	11	0.97
		Carp2	2	P	BPE	2451	1123	8	11	12	0.96
		Carp3	2	P	BPE	2365	1122	5	7	7	0.67
		Carp6	2	P	BPE	2265	1115	6	7	7	0.79
Curungueo	e: Curun	Carp7	2	P	BPE	2262	1114	2	2	2	0.2
		Curu2	2	I	BPE	2145	1094	4	4	4	0.33
		Curu1	3	P	AT	2148	1089	5	5	5	0.54
	f: Curun	Curu3	3	I	AT	2146	1092	2	2	2	0.24
		Curu11	2	I	CP	2047	1048	7	7	7	0.57
		Curu10	2	I	CP	2032	1048	5	5	5	0.47
		Curu9	3	P	AT	2003	1039	8	9	9	0.91
	g: Curun	Curu8	3	P	BPE	2000	1044	4	5	5	0.63
		Curu7	1	I	AT	1959	1028	2	2	2	0.3
		Curu4	1	P	AT	1938	1025	6	6	6	0.62
		Curu6	3	P	AT	1942	1021	7	7	7	0.72
		Curu5	3	P	AT	1920	1021	8	9	9	0.82

*OH es el orden hidrológico del arroyo, según Strahler (1957). **La temporalidad de los arroyos se indica con I (intermitentes) y P (permanentes). ***BPE/O Bosque de Pino Encino / Oyamel; BPE Bosque de Pino Encino; AT Agricultura de Temporal; CP Cultivo Perenne.

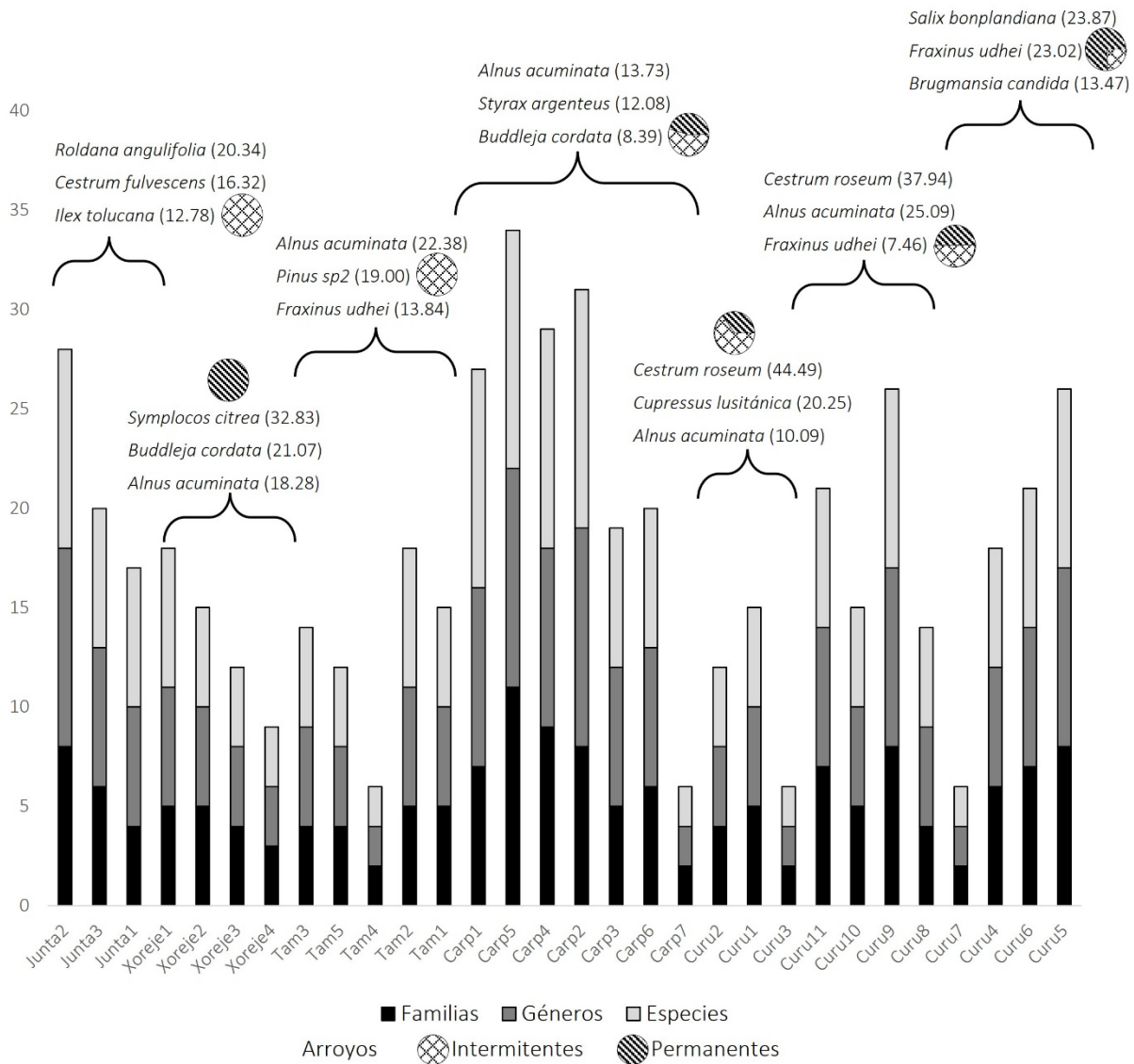


FIGURA 2. Familias, géneros y especies presentes en las riberas del río San Juan Zitácuaro.

Se muestran las especies con mayor valor de importancia (VI entre paréntesis), y en círculos la proporción de arroyos permanentes e intermitentes.

La vegetación ribereña. En los 30 sitios analizados se midieron 805 individuos pertenecientes a 24 familias, 37 géneros y 56 especies (Fig. 2). Tres de las morfoespecies colectadas no se pudieron determinar, por esta razón fueron excluidas del análisis. Se identificaron 16 especies endémicas al territorio mexicano, así como tres con alguna categoría de riesgo dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 [NOM-059] (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semamat], 2010).

Las 56 especies han sido incluidas en el repositorio de datos de Flores-Díaz y Martínez (2022).

La composición y estructura de la vegetación remanente en las redes hidrológicas. Las redes Carpinteros y La Junta presentaron el mayor número de especies arbóreas (10 a 12 por sitio; Tabla 2). El ACP muestra que el número de especies, géneros y familias, junto con el número de ramas, y el número, altura y diámetro de los individuos, son las



variables que más contribuyen a la primera dimensión; mientras la elevación y la precipitación son las que más contribuyen a la segunda, y en conjunto explican 71.1% de la variabilidad (Fig. 3). El agrupamiento jerárquico distinguió cuatro grupos en función de las variables mencionadas, con diferencias significativas para todas las

variables excepto en la altura de los individuos (Kruskal-Wallis, $p=0.43$). El grupo 1 (Fig. 3, color rosa) presenta el mayor número de familias, géneros y especies, y la mayor densidad de individuos. El valor más alto de área basal se encuentra en el grupo 4 (Fig. 3, color violeta) y los mayores diámetros en el grupo 3 (Fig. 3, color verde).

TABLA 2. Rasgos de la estructura de la vegetación ribereña remanente en el río San Juan Zitácuaro.

<i>Red</i>	<i>Sitio</i>	<i>Núm. Individuos</i> (ha)	<i>Altura promedio</i> (m)	<i>Área Basal</i> (m ² ha ⁻¹)	<i>Núm. Ramas</i>	<i>Diám. promedio</i> (cm)
a: La Junta	Junta2	2,200.00	7.85	53.787	136	7.57
	Junta3	2,366.67	5.41	61.522	142	6.28
	Junta1	1,200.00	6.25	14.136	60	6.43
b: Xorejé	Xoreje1	600	10.53	44.167	39	15.42
	Xoreje2	733.33	12.41	95.748	26	28.47
	Xoreje3	300	7.78	22.901	14	15.63
	Xoreje4	266.67	17.63	59.985	10	41.95
c: Tamejé	Tam3	233.33	10	46.726	7	38.65
	Tam5	333.33	9.6	36.426	12	26.82
	Tam4	66.67	11.5	13.525	2	46.63
	Tam2	466.67	10.07	36.076	23	14.53
	Tam1	533.33	10.19	51.607	23	18.76
d: Carpin	Carp1	1,866.67	6.66	42.372	83	9.51
	Carp5	1,733.33	11.83	56.725	61	14.78
	Carp4	1,366.67	11.5	68.127	45	18.58
	Carp2	1,133.33	6.82	10.644	38	7.82
	Carp3	766.67	5.35	5.081	34	6.51
	Carp6	500	7.33	15.27	23	12.4
	Carp7	400	17.08	17.335	16	19.17
e: Curun	Curu2	600	7.83	119.471	25	29.56
	Curu1	1,033.33	13.16	83.749	34	25.06
	Curu3	133.33	10.28	9.867	4	30.56
f: Curun	Curu11	1,333.33	5.82	144.925	49	22.02
	Curu10	1,433.33	6.41	74.516	49	16.54
	Curu9	566.67	8.5	19.475	24	11.64
	Curu8	900	8.23	18.954	34	10.88
	Curu7	66.67	7.84	9.713	3	29.07
g: Curun	Curu4	800	12.83	77.228	33	18
	Curu6	1,033.33	7.96	58.211	60	12.03
	Curu5	1,433.33	13.75	62.245	63	13.58

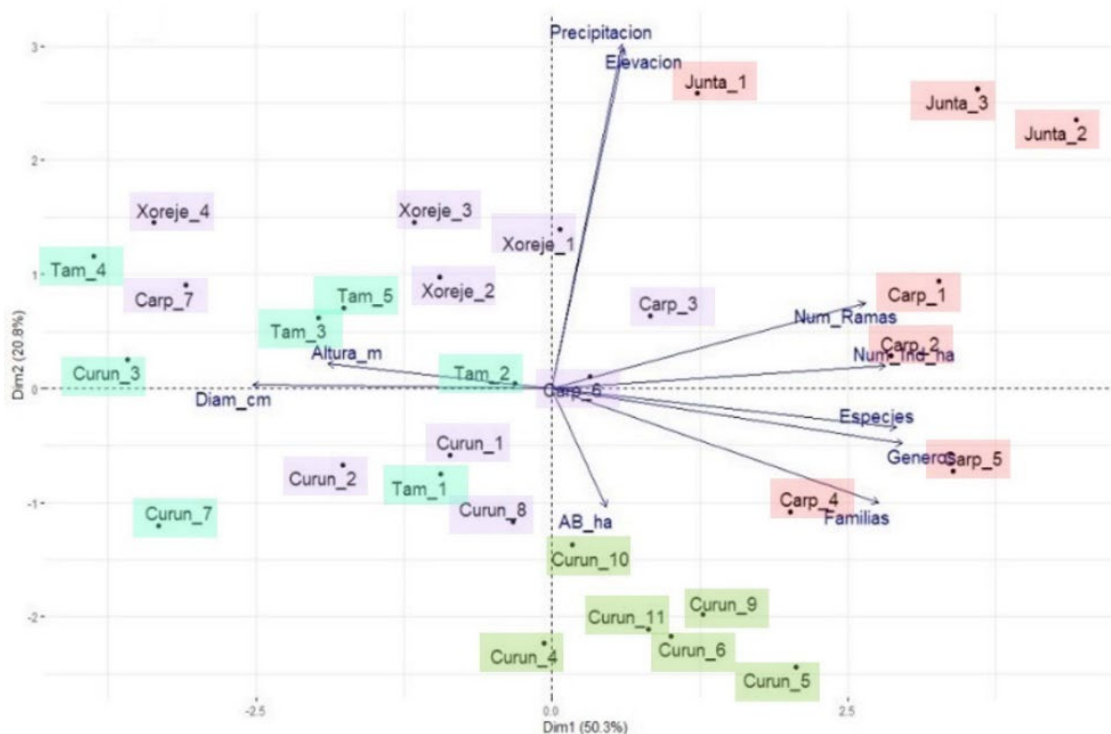


FIGURA 3. Análisis de componentes principales.

Las dos primeras dimensiones explican 71%. El agrupamiento jerárquico mostró cuatro grupos fisonómicos (colores).

En la red a): La Junta, están presentes *Roldana angulifolia* (DC.) H.Rob. & Brettell, *Cestrum fulvescens* Fernald, e *Ilex discolor* var. *tolucana* (Hemsl.) Edwin ex J.Linares, cuyo VI es de 20.37, 16.32 y 12.78, respectivamente. En el resto de las redes (b - g) es recurrente la presencia de *Alnus acuminata* Kunth, *Buddleja cordata* Kunth y *Fraxinus udbei* (Wenz.) Lingelsh, con altos VI (Fig. 2).

Diversidad de especies en las redes. Para las redes analizadas se obtuvo una representación de la riqueza de especies arbóreas (Tabla 1). La curva de rarefacción para las redes (Fig. 4) concuerda con los índices de diversidad. La red d: Carpinteros es la de mayor número de especies por individuos censados y, a pesar de que la red c: Tamejé tiene pocos individuos, estos están más uniformemente distribuidos entre las especies.

Los índices Sorensen Cuantitativo y β -Simpson, que muestran el recambio de especies, se presentan en la tabla 3.

La presencia de especies potencialmente invasoras y con alto VI en los sitios, mostró estar asociada con la densidad de individuos y con la interacción entre la elevación y el orden hidrológico ($familia = \text{binomial}; Dev. Nula = 41.45, Dev. Residual = 28.38, AIC = 38.38$). En este estudio las especies potencialmente invasoras son *R. angulifolia*, *C. fulvescens* y *C. rostreum*. *Cupressus lusitanica* Mill. no es invasora sino introducida en estas riberas.

El índice de Shannon-Weiner (H') mostró una relación significativa ($R^2 = 0.67, p < 0.05$) con presencia de invasoras y densidad y altura de individuos, así como con las variables geográficas elevación y orden hidrológico ($H' = 0.284 * Invasoras [0] - 0.000232 * Elevación - 0.0655 * Orden [2] + 0.0934 * Orden [3] + 0.000182 * Densidad - 0.0256 * Altura - 1.19$). Los sitios con densidad intermedia son los más diversos ($R^2 = 0.40, p < 0.05$): $H' = 0.542D - 0.45D^2 + 0.613$.

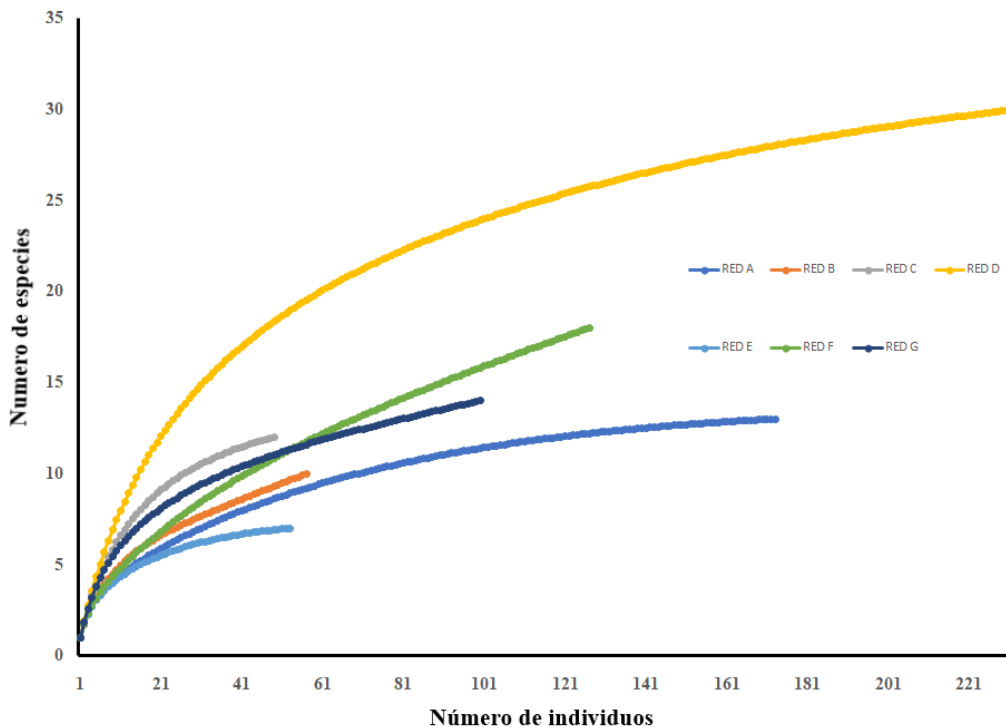


FIGURA 4. Curva de rarefacción de las redes en las que se enmarcan los 30 sitios analizados.

Tabla 3. Diversidad β en las redes analizadas.

	Red:a	Red:b	Red:c	Red:d	Red:e	Red:f	Red:g
Red:a		0.287	0.099	0.167	0.035	0.020	<i>0.015</i>
Red:b	0.300		0.358	0.159	0.109	0.076	0.025
Red:c	0.750	0.700		0.206	0.137	0.250	0.094
Red:d	0.308	0.200	0.500		0.098	0.244	0.060
Red:e	0.714	0.714	0.571	0.571		0.322	0.105
Red:f	0.846	0.800	0.667	0.444	0.286		0.256
Red:g	0.923	0.900	0.750	0.714	0.571	<i>0.000</i>	

Sorensen Cuantitativo se ubica en la diagonal superior y β -Simpson en la inferior. En negritas se indican los valores más altos y en itálicas los más bajos.

Síntesis de características geográficas y rasgos de la vegetación en cada red hidrológica

Red a: La Junta. Se ubica a 2800 m de elevación, tiene arroyos temporales rodeados de bosque de pino encino / oyamel y precipitación anual de 1200 mm. Registró una alta densidad de individuos, cuya altura promedio es de 8 m. La riqueza está alrededor de $H' = 0.72$ con alta diversidad beta

con el resto de los sitios principalmente con la red g: Curungueo. Las especies más representativas (Fig. 2) fueron *R. angulifolia*, *I. toluhana* y *C. fulvescens*; ésta última es endémica.

Red fluvial b: Xorejé. Se ubica a 2600 m de elevación, tiene arroyos rodeados por bosque de pino encino, lluvia promedio anual de 1130 mm. Los individuos estudiados no

mostraron una alta densidad y alcanzaron alturas de hasta 18 m. Los valores de diversidad estuvieron alrededor de $H' = 0.6$ y la mayor diversidad beta se presentó con la red fluvial c: Tamejé. Las especies con mayor VI fueron *Symplocos citrea* Lex. ex La Llave & Lex. (endémica, dominante y con estatus de protección por la NOM-059 (Semarnat, 2010)), *B. cordata* y *A. acuminata*.

Red fluvial c: Tamejé. Se ubica a 2400 m de elevación, con lluvias anuales de 1100 mm y arroyos temporales en una matriz de agricultura de temporal. Presentó baja densidad de individuos, que alcanzaban alturas de 12 m con los mayores diámetros (47 cm). Presentó valores de diversidad alrededor de $H' = 0.71$ y la diversidad beta más elevada se presentó con la red a: La Junta. Las especies con mayor VI fueron *A. acuminata*, *Pinus* sp.2. y *F. udbei*.

Red fluvial d: Carpinteros. Se ubica a 2300 m de elevación, en zonas de 1100 mm de precipitación anual. Los arroyos de esta red atraviesan un bosque de pino encino, con árboles de 17 m de altura promedio y sitios que varían en cuanto a densidad de individuos. La riqueza se encontró alrededor de $H' = 0.97$ y la mayor diversidad beta se presentó con la red f: Curungueo. Las especies con mayor VI fueron *A. acuminata*, *Styrax argenteus* C. Presl. y *B. cordata*.

Red fluvial e: Curungueo. Se ubica a 2100 m de elevación, con una precipitación anual de 1000 mm y arroyos que cruzan una matriz de agricultura de temporal. La densidad de individuos fue baja, alcanzando hasta 13 m de altura y diámetros de 33 cm. La riqueza de especies estuvo alrededor de $H' = 0.54$ y la diversidad beta fue elevada con las redes a: La Junta y b: Xorejé. Las especies con mayor VI fueron *Cestrum roseum* Kunth, *C. lusitanica* Mill. y *A. acuminata*.

Red fluvial f: Curungueo. Se ubica a 2000 m de elevación, en una región que presenta 1000 mm de lluvia anual. Los arroyos de esta red cruzan una matriz de agricultura de temporal y cultivos perennes (huertas de aguacate). La densidad de individuos fue intermedia, con alturas de hasta

9 m. y las áreas basales más elevadas, con valores de 43 000 $\text{cm}^2 \text{ha}^{-1}$. La riqueza de especies estuvo alrededor de $H' = 0.91$, la mayor diversidad beta con la red fluvial a: La Junta. Las especies con mayor VI fueron *C. roseum*, *A. acuminata* y *F. udbei*.

Red fluvial g: Curungueo. Se ubica a 2000 m de elevación, en una región que presenta 1000 mm de lluvia anual. Los arroyos de esta red atraviesan una matriz de agricultura de temporal. La densidad de individuos es intermedia, con alturas de hasta 14 m. La riqueza de especies fue muy variable alcanzando alrededor de $H' = 0.82$ en uno de los tramos, aunque en los demás fue baja. La diversidad beta fue elevada en comparación con la red a: La Junta. Las especies con mayor VI fueron *S. bonplandiana* Kunth, *F. udbei* y *Brugmansia candida* Pers.

DISCUSIÓN

Las especies ribereñas en sus contextos geográficos

En la cabecera de la cuenca del río San Juan Zitácuaro analizada en el presente estudio, tres especies nativas tuvieron una mayor presencia en las riberas; de ellas, *A. acuminata* y *F. udbei* han sido referidas como especies asociadas a corrientes de agua en bosques templados (Conafor, s.f.), su madera es usada con fines culturales, medicinales y forestales (madera preciosa) se recomienda su introducción para la recuperación de suelos degradados, dada su fácil reproducción (Conafor, s.f.). La tercera especie es *C. roseum*, de porte arbustivo, esta mostró gran importancia fisonómica y estructural en estos sitios; aunque se conoce poco de su ecología, por su pertenencia a la familia Solanaceae y sus frutos carnosos, es posible suponer que su dispersión es zoocoria.

Lot et al. (s.f.) identificaron a *Alnus jorullensis* Kunth, *Buddleja* sp., *A. acuminata*, *F. udbei*, *Carpinus caroliniana* Walt., *Alnus* sp. y *Salix bonplandiana* Kunth como ribereñas de la zona de Zitácuaro, siendo las dos últimas registradas en un río permanente; estos autores recomiendan el uso de *A. jorullensis* para la restauración ribereña. *A. acuminata* estuvo



presente de manera importante en tramos fluviales ubicados debajo de los 2800 m de altitud, al igual que *B. cordata* y *F. udbei*. *S. bonplandiana* presentó un bajo VI y fue encontrada únicamente en los tramos ubicados alrededor de 1900 m de altitud. Algunas de estas especies ribereñas como *A. acuminata*, está presente en otras regiones como el río Xaltatempa, Puebla (Aguilar Luna, 2018) en elevaciones de 1451 m a 1680 m; y en el bosque templado del río Quila, Jalisco (Santiago-Pérez et al., 2014) entre 1876 m y 2200 m de elevación. *Symplocos citrea* tiene gran importancia en Xorejé y ha sido registrada también en riberas de bosque mesófilo (López-Pérez et al., 2011). En Tamejé se encontraron *A. acuminata*, *Pinus* sp2 y *F. udbei*, propias de sitios sombreados, algunos de los cuales pueden ser arroyos que corren en valles profundos, alrededor de 2400 m de altitud. En Carpinteros, tuvo una presencia importante *S. argenteus*, también identificada como hidrófila en bosque mesófilo (López-Pérez et al., 2011), cuyo crecimiento se ve favorecido alrededor de los 2300 m de altitud. En Curungueo, *C. lusitanica* parece haber sido incorporada por los habitantes de los terrenos adyacentes a la ribera, ya que se encontraron individuos coetáneos y distribuidos de manera uniforme, además de que no es una especie propia de esos sitios; es una especie incluida en la NOM-059 (Semarnat, 2010) con categoría de riesgo. La presencia de *Cestrum roseum* y *Brugmansia candida* indica un fuerte disturbio en esta red y su cercanía a centros de población (Conabio, 2006), estas especies se presentan también en zonas de cultivos inmersas en bosques de pino encino del centro de México (Martínez et al., 2020).

Tanto la densidad de individuos como la riqueza mostraron variar con la cubierta del suelo que es atravesada por el arroyo, como se registra también en regiones como la Sierra Madre de Chiapas (Díaz-Pascacio et al., 2018; Escalona-Domenech et al., 2021; Fernandes et al., 2016). Sin embargo, es necesario incluir en el análisis los cambios en el caudal, ya que en zonas como la red a: La Junta, donde los arroyos atraviesan el bosque de oyamel, se presentan especies como *R. angulifolia* que podría indicar alteraciones en el patrón del caudal (Greet et al., 2015). Esta red se encuentra en la interfaz entre la

zona núcleo y la de amortiguamiento de la RBMM; el manejo forestal se detuvo hace 50 años, pero es creciente la extracción de agua de los arroyos para riego. El estudio de las especies potencialmente invasoras de las riberas puede alertar sobre dichos cambios (Catford et al., 2011; Hood y Naiman, 2000).

El reconocimiento de las especies ribereñas para guiar mejores prácticas de manejo

Los ejemplares de especies arbóreas remanentes en las zonas de ribera han sido dejados en pie por los pobladores locales. Su permanencia puede indicar que han resistido fenómenos naturales e impactos antrópicos de la zona, esto las haría potencialmente útiles en iniciativas de recuperación fluvial. Los resultados aquí presentados incluyen especies listadas en la NOM-059 (Semarnat, 2010), que tienen gran relevancia por tratarse de un área natural protegida. Por su posición en la cabecera de la cuenca, los arroyos analizados están asociados a procesos como el intercambio de materiales entre la ribera y la columna de agua (Barmuta et al., 2009; Flores-Díaz et al., 2017), el balance entre caudal y sedimentos (Gurnell et al., 2006; Finlay, 2011; Masese et al., 2017; Wohl, 2017) y la integridad de la red hídrica (Castillo et al., 2012; Sánchez, 2007). Las funciones de las riberas fluviales están fuertemente asociadas a la interacción entre la dinámica de la vegetación y la temporalidad del flujo, su velocidad y el tamaño de la cuenca vertiente (Gurnell et al., 2006; Gomes et al., 2021).

CONCLUSIONES

Este estudio muestra la riqueza arbórea de especies remanentes en las riberas de arroyos de cabecera y el recambio de especies entre las redes analizadas en el gradiente altitudinal. La presencia de especies potencialmente invasoras mostró estar asociada con la densidad de individuos, el índice de diversidad, el orden hidrológico y la elevación, lo cual sugiere la importancia de incorporar los rasgos de la red hídrica en los estudios de flora ribereña. El patrón del caudal y la vegetación son interdependientes, y forman parches heterogéneos a lo largo de la red hídrica. La elevación, la precipitación y el

orden hidrológico establecen condiciones particulares para la vegetación de las riberas, por lo que es necesario analizarlos con los aspectos de manejo del territorio, ya sean los cambios de cubierta del suelo o de caudal, distinguiendo el impacto de cada uno de ellos de forma individual o acumulativa. Las especies indicadas como nativas y propias de la ribera pueden formar parte de la paleta vegetal en iniciativas de recuperación en arroyos de cabecera, la cual es una zona crítica para alcanzar las metas de conservación y de suministro de agua. Los estudios que busquen orientar las decisiones de manejo ribereño (conservación, restauración o aprovechamiento) requieren reconocer la unicidad de los tramos en cada arroyo y red. La interdependencia entre el caudal y la vegetación es uno de los patrones que las iniciativas de restauración podrían emular. En la RBMM es necesario evaluar las presiones que el cambio de uso del suelo de bosques a cultivos está generando sobre los ecosistemas dulceacuícolas, manifiesto en la pérdida de cubierta boscosa en las zonas adyacentes y en la propia ribera, y en los cambios en el caudal que podrían favorecer la presencia de invasoras.

RECONOCIMIENTOS

La primera autora agradece la beca posdoctoral otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) No. 291053 y No. 02-291222, en el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. Se agradece a las autoridades de las comunidades indígenas de Francisco Serrato, Carpinteros y Curungueo, en Zitácuaro, Michoacán y el apoyo de las organizaciones Global Water Watch México, Fondo de Conservación del Eje Neovolcánico (Focen) y Alternare, A. C.; y a Pablo Iván Argueta Navarrete por el apoyo en trabajo de campo. El Dr. Alfredo Pérez (QEPD) participó en el diseño de muestreo de la vegetación.

REFERENCIAS

- Aguilar, F. C., & Ferreira, M. T. (2005). Human-disturbed landscapes: effects on composition and integrity of riparian woody vegetation in Tagus river basin, Portugal. *Environmental Conservation*, 32(1), 30-41. <https://doi.org/10.1017/S0376892905001992>
- Aguilar Luna, J. M. E. (2018). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea de un bosque de galería en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 230-252. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.154>
- Argueta Navarrete, P. I. (2019). *Modelación espacial de la retención potencial de sedimentos en sistemas riparios de la reserva de la biosfera de la Mariposa Monarca* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2019/mayo/0789432/Index.html>
- Barmuta, L., Watson, A., Clarke, A., & Clapcott, J. (2009). *The importance of headwater streams*. National Water Commission. <http://ecite.utas.edu.au/62231>
- Bowler, D. E., Mant, R., Orr, H., Hannah, D., & Pullin, A. S. (2012). What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature? *Environmental Evidence*, 1(1), 3. <https://doi.org/10.1186/2047-2382-1-3>
- Camacho-Rico, F., Trejo, I., & Bonfil, C. (2006). Estructura y composición de la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Morelos, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 78, 17-31. <https://doi.org/10.17129/botsci.1718>
- Castillo, M. M., Morales, H., Valencia, E., Morales, J. J., & Cruz-Motta, J. J. (2012). The effects of human land use on flow regime and water chemistry of headwater streams in the highlands of Chiapas. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 407, 09. <https://doi.org/10.1051/kmae/2013035>
- Catford, J., Downes, B. J., Gippel, C. J., & Vesik, P. A. (2011). Flow regulation reduces native plant cover and facilitates exotic invasion in riparian wetlands. *Journal of Applied Ecology*, 48(2), 432-442. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01945.x>
- Colwell, R. K. (2005). *Estimates: Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/EstSUsersGuide/EstimateSUsersGuide.htm>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio] (2006). *Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional El Chico*. Conabio
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (s.f.). *Alnus acuminata H.B.K. Paquetes tecnológicos*. SIRE - Conabio - Semarnap. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/882AInus%20acuminata.pdf>
- Díaz-Pascacio, E., Ortega-Argueta, A., Castillo-Uscanga, M., & Ramírez-Marcial, N. (2018). Influence of land use on the riparian zone condition along an urban-rural gradient on the Sabinal River, Mexico. *Botanical Sciences*, 96(2), 180-199. <https://doi.org/10.17129/botsci.1858>



- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2001). Programa de Manejo del Área Natural Protegida con el carácter de Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, asimismo se da a conocer el Resumen del Programa de Manejo respectivo, el plano de localización y zonificación de dicha zona. DOF. https://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/programas_manejo/aviso_monarca.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat] (2010). NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. DOF. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm>
- Donato, G., & Belongie, S. (2002). Approximation Methods for thin plate spline mappings and principal warps. En A. Heyden, G. Sparr, M. Nielsen, & P. Johansen (Eds.), *Computer Vision - ECCV 2002: 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, Denmark, Proceedings* (pp. 21-31). Springer - Verlag Heidelberg.
- Dudgeon, D., Arthington, A., Gessner, M. O., Kawabata, Z., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A. H., Soto, D., Stiassny, M. L., & Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163-182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- Escalona-Domenech, R., Infante-Mata, D., García-Alfaro, J. R., Ramírez-Marcial, N., Oryiz-Arrona, C. N., & Barba-Macías, E. (2021). Calidad de las riberas en tres tipos de cobertura vegetal en un río de la Sierra Madre de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92(4), e923526. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3526>
- Fernandes, M. R., Segurado, P., Jauch, E., & Ferreira, M. T. (2016). Riparian responses to extreme climate and land-use change scenarios. *Science of the Total Environment*, 569-570, 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.099>
- Finlay, J. C. (2011). Stream size and human influences on ecosystem production in river networks. *Ecosphere*, 2(8), 87. <https://doi.org/10.1890/ES11-00071.1>
- Flores-Díaz, A. (2014). *Manejo de las zonas riparias de la cuenca del Río Cuitzamalá, Jalisco* [Tesis de Doctorado, Instituto de Ecología, A.C.].
- Flores-Díaz, A. C., Castillo Alvarez, A., Sánchez Matías, M., & Maass Moreno, M. (2014). Local values and decisions: views and constrains for riparian management in western Mexico. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 414, 1-6. <https://doi.org/10.1051/kmae/2014017>
- Flores-Díaz, A., & Martínez, J. (2022). *Riparian remnant species registered at headwater streams in San Juan Zitácuaro, Mich. ver 1. Environmental Data Initiative*. <https://doi.org/10.6073/pasta/29ed38f3300d4af109977f250e09d04e>
- Flores-Díaz, A. C., Guevara Hernández, R., Mendoza, M., Landgrave, R., Quevedo, A., & Maass, M. (2017). Hierarchical procedure for creating local typologies for riparian zone research and management based on biophysical features. *Physical Geography*, 39(2), 118-139. <https://doi.org/10.1080/02723646.2017.1387427>
- Garner, G., Malcolm, I. A., Sadler, J. P., & Hannah, D. (2014). What causes cooling water temperatures gradients in a forested stream reach? *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(12), 5361-5376. <https://doi.org/10.5194/hess-18-5361-2014>
- Giraldo, L. P., Chará, J., Calle D, Z., & Chará-Serna, A. M. (2022). Riparian Forests: Longitudinal Biodiversity Islands in Agricultural Landscapes. En F. Montagnini (Ed.), *Biodiversity Islands: strategies for conservation in human-dominated environments. Topics in Biodiversity and Conservation* (Vol. 20). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92234-4_6
- Gomes, J., Ribeiro Silva, A., Pilati, B., Pereira Andrade, A. L., de Oliveira Fragoso, R., & Barrotto Carmo, M. R. (2021). Ecological aspects of riparian forest remnants in the São João River Basin, Paraná. *Floresta*, 51(2), 391-399. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v51i2.69235>
- Greet, J., Webb, J. A., & Cousens, R. D. (2015). Floods reduce the prevalence of exotic plant species within the riparian zone: evidence from natural floods. *Applied Vegetation Science*, 18(3), 503-512. <https://doi.org/10.1111/avsc.12156>
- Gurnell, A. M., Morrissey, I. P., Boitsidis, A. J., Bark, T., Clifford, N. J., Petts, G. E., & Thompson, K. (2006). Initial Adjustments Within a New River Channel: Interactions Between Fluvial Processes, Colonizing Vegetation, and Bank Profile Dev. *Environmental Management*, 38(4), 580-596. <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0190-6>
- Gurnell, A., Bertoldi, W., & Corenblit, D. (2012). Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. *Earth-Science Reviews*, 111(1-2), 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.11.005>
- Gurnell, A. M., & Grabowski, R. C. (2016). Vegetation-Hydrogeomorphology Interactions in a Low-Energy, Human-Impacted River. *River Research and Applications*, 32(2), 202-215. <https://doi.org/10.1002/rra.2922>

- Hernández A., F. (2018). *Variación altitudinal de variables meteorológicas en el municipio de Zitácuaro, Michoacán: implicaciones para los usos del suelo agrícolas* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
<http://132.248.9.195/ptd2018/junio/0775500/Index.html>
- Hood, W. G., & Naiman, R. J. (2000). Vulnerability of riparian zones to invasion by exotic vascular plants. *Plant Ecology*, 148(1), 105-114.
<https://doi.org/10.1023/A:1009800327334>
- Hough-Snee, N. (2016). *Relationships between Riparian Vegetation, Hydrology, Climate and Disturbance across the Western United States* [Tesis de Doctorado, Universidad Estatal de Utah].
<https://digitalcommons.usu.edu/etd/5018>
- Hughes, R., & Vadas, R. (2021). Agricultural effects on streams and rivers; a western USA focus. *Water*, 13(14), 1901.
<https://doi.org/10.3390/w13141901>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [Inegi] (2010). *Conjuntos vectoriales. Curvas de nivel, hidrología superficial, localidades. Cartografía digital 1:50 000*. Inegi.
- Jstor (s.f). *Global plants*. Ithaka-Jstor. <https://plants.jstor.org/>
- Koleff, P., Gaston, K. J., & Lennon, J. J. (2003). Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology*, 72(3), 367-382. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2003.00710.x>
- Koleff, P. (2005). Conceptos y medidas de la diversidad beta. En G. Halffter, J. Soberón, P. Koleff, & A. Melic (Eds.), *Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma* (pp. 19-40). SEA - Conabio - Grupo Diversitas - Conacyt.
- López-Pérez, Y., Tejero-Díez, D., Torres-Díaz, A. N., & Luna-Vega, I. (2011). Flora del bosque mesófilo de montaña y vegetación adyacente en Avándaro, Valle de Bravo, estado de México, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 88, 35-53.
- Lot, A., Llamas, I., Ramírez, P., & Argüello, J. (s.f.) *Asesoría "Restauración de ecosistemas riparios en las subcuencas del sistema Cutzamala" Informe final*. UNAM - Instituto Nacional de Ecología - Halcón, A. C. <https://docplayer.es/23221683-Departamento-de-botanica-laboratorio-de-vegetacion-acuatica.html>
- Luque, F. J., & González-Trujillo, J. D. (2021). Auto-ecological responses of rainbow trout populations to ecoregional differences in a neotropical Andean river. *Limnetica*, 40(1), 43-55.
<http://doi.org/10.23818/limn.40.04>
- Magurran, A. (2004). *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing Co.
- Martínez, M., Montero, J. C., Dean, E. A., Bye, R., Luna-Cavazos, M., Medina, J. M., & Rzedowski, J. (2020). *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Fascículo 218. Familia Solanaceae I. Géneros Acnistus-Witheringia (excepto Solanum)*. Instituto de Ecología A.C.
- Mas, J. F., Lemoine-Rodríguez, R., González-López, R., López-Sánchez, J., Piña-Garduño, A., & Herrera-Flores, E. (2017). Land use/land cover change detection combining automatic processing and visual interpretation. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 626-635. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1387505>
- Masee, F. O., Salcedo-Borda, J. S., Gettel, G. M., Irvine, K., & McClain, M. E. (2017). Influence of catchment land use and seasonality on dissolved organic matter composition and ecosystem metabolism in headwater streams of a Kenyan river. *Biogeochemistry*, 132(1), 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10533-016-0269-6>
- Matteucci S., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretariado General de la Organización de los Estados Americanos.
- McAleece, N., Gage, J. D. G., Lamshead, P. J. D., & Paterson, G. L. J. (1997). *BioDiversity Professional statistics analysis software*. Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London.
- Moore, R. D., & Richardson, J. S. (2003). Progress towards understanding the structure, function, and ecological significance of small stream channels and their riparian zones. *Canadian Journal of Forest Research*, 33(8), 1349-1351. <https://doi.org/10.1139/x03-146>
- Moore, R. D., & Richardson, J. S. (2012). Natural disturbance and forest management in riparian zones: comparison of effects at reach, catchment, and landscape scales. *Freshwater Science*, 31(1), 239-247. <https://doi.org/10.1899/11-030.1>
- Moreno, C. E. (2001). *Manual de métodos para medir la biodiversidad. Manuales y Tesis*. Cyted - Orcyt-Unesco - Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza.
- Naiman, R., Décamps, H., & McClain, M. (2005). *Riparia: Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities*. Elsevier Academic Press.
- Naiman, R., & Décamps, H. (1997). The Ecology of Interfaces: Riparian Zones. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28(1), 621-58. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- Naiman, R. J., Bunn, S. E., Nilsson, C., Petts, G. E., Pinay, G., & Thompson, L. (2002). Legitimizing Fluvial Ecosystems as Users of Water: An Overview. *Environmental Management*, 30(4), 455-467. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2734-3>
- Poole, G. (2002). Fluvial Landscape Ecology: Addressing Uniqueness Within the River Discontinuum. *Freshwater Biology*, 47(4), 641-660. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00922.x>
- Postel, S., & Richter, B. (2003). *Rivers for life. Managing water for people and nature*. Island Press.



- QGIS (2020). *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>
- Richardson, D. M., & Pyšek, P. (2004). *What is an invasive species?*. <https://www.cabi.org/isc/FullTextPDF/2009/20093238299.pdf>
- R Core Team (2020). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://r-project.org/>
- RStudio Team (2021). *RStudio: Integrated Development for R*. RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>
- Sánchez R., R. (2007). *Propuesta para la restauración del ecosistema de un río de montaña (Tembembe, Morelos)* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. https://ru.dgb.unam.mx/handle/DGB_UNAM/TES01000618926
- Sánchez-Velásquez, L., & Pineda, R. (2000). *Ecología Cuantitativa en Plantas: Métodos*. Universidad de Guadalajara.
- Santiago-Pérez, A. L., Ayón Escobedo, A., Rosas-Espinoza, V. C., Rodríguez Zaragoza, F. A., & Toledo González, S. L. (2014). Estructura del bosque templado de galería en la Sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(24), 144-159. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i24.326>
- Singh, R., Tiwari, A. K., & Singh, G. S. (2021). Managing riparian zones for river health improvement: an integrated approach. *Landscape and Ecological Engineering*, 17(2), 195-223. <https://doi.org/10.1007/s11355-020-00436-5>
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 38(6), 913-920. <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>
- Tickner, D., Opperman, J. J., Abell, R., Acreman, M., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Cooke, S. J., Dalton, J., Darwall, W., Edwards, G., Harrison, I., Hughes, K., Jones, T., Leclère, D., Lynch, A. J., Leonard, P., McClain, M. E., Muruven, D., Olden, J. D., ..., Young, L. (2020). Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: an emergency recovery plan. *BioScience*, 70(4), 330-342. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>
- Tolkinen, M., Heino, J., Ahonen, S. H. K., Lehosmaab, K., & Mykrä, H. (2020). Streams and riparian forests depend on each other: A review with a special focus on microbes. *Forest Ecology and Management*, 462, 117962. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.117962>
- Vázquez, G., García Franco, J. G., Castillo, G., Escobar, F., Guillén, A., Martínez, M. L., Mehlreter, K., Novelo, R., Pineda, E., Sosa, V., Valdespino, C., Campos, A., Landgrave, R., Montes de Oca, E., Ramírez, A., & Galindo, J. (2015). Ecosistemas ribereños: un paisaje fragmentado. *Biodiversitas*, 119, 7-11.
- Von Thaden, J., Salazar-Arteaga, H., Laborde, J., Estrada-Contreras, I., & Romero-Urbe, H. (2022). Arboreal elements of the agricultural matrix as structural connecting devices in fragmented landscapes – A case study in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve. *Ecological Engineering*, 179, 106633. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106633>
- Wohl, E. (2017). Connectivity in rivers. *Progress in Physical Geography*, 41(3), 345-362. <https://doi.org/10.1177/0309133317714972>
- Wohl, E., Castro, J., Cluer, B., Merritts, D., Powers, P., Staab, B., & Thorne, C. (2021). Rediscovering, Reevaluating, and Restoring Lost River-Wetland Corridors. *Frontiers in Earth Sciences*, 9, 653623. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.653623>

Manuscrito recibido el 19 de junio de 2022

Aceptado el 08 de octubre de 2022

Publicado el 17 de diciembre de 2022

Este documento se debe citar como:

Flores-Díaz, A. C., & Martínez-Cruz, J. (2022). Relación entre la vegetación ribereña arbórea remanente y los rasgos de la red fluvial en arroyos de cabecera. *Madera y Bosques*, 28(3), e2832500. <https://doi.org/myb.2022.2832500>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.