



Estructura y diversidad de la vegetación arbórea de un bosque de galería en el estado de Puebla

Jesús Mao Estanislao Aguilar Luna^{1*}

¹Complejo Regional Norte. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

*Autor por correspondencia, correo-e: mao.aguilar@correo.buap.mx

Resumen

Los bosques de galería ocupan franjas transversales a lo largo de las corrientes fluviales, con una estructura y función ecosistémica particular. Un ejemplo de ellos se ubica en la ribera del río Xaltatempa, en Puebla, al que se le analizaron las variables de la vegetación arbórea y su relación con la calidad del agua. Se establecieron seis unidades de muestreo de 1 000 m², distanciadas entre sí por 2 km, en las que se midieron e identificaron todos los árboles y arbustos con DAP \geq 1 cm; con ello se calculó su índice de valor forestal (IVF), índice de valor de importancia (IVI), índice de heterogeneidad de *Shannon-Weaver* (H') e índice de similitud de *Sørensen* (ISS); adicionalmente, se tomaron muestras de agua del río para determinar sus principales características químicas. Los resultados indican diferencia estadística entre sitios ($\alpha\leq 0.05$), en la que la especie más importante por su diámetro, altura y cobertura fue *Platanus mexicana* (ÍVF=300.00), como por su dominancia, densidad y frecuencia (ÍVI=182.71). La riqueza específica (H'=0.54) se concentró solo en seis especies: *Alnus acuminata*, *Ligustrum lucidum*, *Parathesis serrulata*, *Pinus patula*, *Platanus mexicana* y *Quercus rugosa*; en cuanto al ISS la combinación pareada de los sitios 4 (1 586 msnm) y 5 (1 536 msnm) hizo coincidir a *Alnus acuminata*, *Ligustrum lucidum* y *Platanus mexicana* (ÍSS=1.00). La estructura (fragmentada) y la diversidad (muy baja) de la vegetación arbórea del bosque de galería, hacen evidente un efecto antrópico, sin que se manifiesten cambios en la calidad del agua del río Xaltatempa.

Palabras clave: Bosque de galería, índice de heterogeneidad de *Shannon-Weaver*, índice de similitud de *Sørensen*, índice de valor de importancia, valor forestal, vegetación ribereña.

Fecha de recepción/Reception date: 12 de diciembre de 2017

Fecha de aceptación/Acceptance date: 7 de marzo de 2018.

Introducción

El bosque de galería es una formación vegetal caracterizada por su vinculación a la ribera de un río o entidad hidrológica equivalente (Santiago *et al.*, 2014); se trata de una comunidad forestal compleja y frágil, que cumple un papel fundamental en términos ecológicos, hidrológicos y de biodiversidad para la conservación de los ríos (Meli *et al.*, 2017).

Desde el punto de vista fisonómico y estructural, en pocas ocasiones pueden formar masas puras de una sola especie, por lo que ahí se verifica una alternancia, que, como lo señaló Sánchez (1986), puede cambiar en corta distancia o bien presentarse en combinaciones de asociaciones vegetales. En los ríos, los patrones de distribución de las especies están relacionados con la microtopografía y las variables edáficas (Cortés e Islebe, 2005); mientras que los gradientes altitudinales están asociados con cambios en las características de la vegetación ribereña, que incluyen su diversidad, así como sus propiedades estructurales y funcionales (Ward *et al.*, 2002; Acosta *et al.*, 2008).

En las zonas ribereñas, la diversidad arbórea tiene un componente vertical bien definido, desde la superficie del agua hasta el dosel, donde se encuentran estratos distintivos de vegetación (Granados *et al.*, 2006); tal diversidad se puede evaluar a partir del número de especies en un sitio particular (Meli *et al.*, 2017). La estructura arbórea es un eje de ordenamiento ambiental de vital importancia para el equilibrio ecosistémico de los bosques de galería (Romero *et al.*, 2014).

Se define por el tipo, número, arreglo espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen; en este contexto, destacan principalmente las

estructuras de especies, la disposición espacial y dimensional del ecosistema (Aguirre, 2002). La estructura vertical es la manera en la que se distribuye el componente arbóreo en el eje vertical; es decir, la altura sobre el suelo. Una primera tendencia asume que la naturaleza del dosel es cambiante, puesto que el bosque está creciendo en parches todo el tiempo; de acuerdo con ello se reconocen tres fases: fase de claro, fase de reconstrucción y fase madura o de estado de equilibrio (Román *et al.*, 2012; Meli *et al.*, 2014).

La disposición vertical de la vegetación arbórea del bosque de galería es primordial para mantener la calidad del agua, amortiguar los procesos de sedimentación de los lechos de los ríos (Granados *et al.*, 2006), proporcionar protección contra la erosión del suelo y proveer un hábitat para organismos acuáticos y terrestres (Camacho *et al.*, 2006). La estructura horizontal se refiere a la forma en la que se distribuyen los componentes de la comunidad en el terreno que ocupan, dicha distribución está dada, principalmente, por las alturas de los árboles (Román *et al.*, 2012; Meli *et al.*, 2014).

En la actualidad, la evaluación de la estructura y la condición de los bosques de galería requieren de información detallada de su riqueza, abundancia y diversidad ecológica para generar estrategias de manejo que garanticen la provisión de los servicios ambientales (Méndez *et al.*, 2014; Meli *et al.*, 2017). Sin embargo, los ríos y las comunidades vegetales que se desarrollan en sus márgenes han estado sometidos a intensa presión histórica por diversas actividades humanas, lo que ha llevado a su transformación desde tiempos muy antiguos (Richardson *et al.*, 2007).

Así, el objetivo de la presente investigación fue describir la estructura y diversidad de la vegetación arbórea del bosque de galería, y su relación con la calidad del agua del río Xaltatempa.



Materiales y Métodos

Área de estudio

El río Xaltatempa se localiza en el municipio Tetela de Ocampo en el estado de Puebla, entre los 19°43'00" - 19°57'06" N, y los 97°38'42" - 97°54'06" O; su intervalo altitudinal es de 1 680 a 1 451 m. Forma parte de la zona de climas templados de la Sierra Norte, dentro de la cual, a medida que se avanza de sur a norte, se incrementa la humedad (García, 2004). La Sierra está constituida por cerros, conjuntos montañosos y valles intermontanos, en la vertiente hidrográfica septentrional del estado de Puebla, que está conformada por las distintas cuencas parciales de los ríos que desembocan en el Golfo de México.

La temperatura media anual es de 13.9 °C y la precipitación media anual de 1 260 mm (García, 2004). La mayor parte del territorio está cubierto de bosques templados y de niebla, en los que destacan: *Abies religiosa* (Kunth) Schltdl. et Cham., *Alnus acuminata* Kunth, *Pinus ayacahuite* Ehren. ex Schltdl., *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham., *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl. et Cham., *Platanus mexicana* Moric., *Quercus oleoides* Schltdl. et Cham. y *Quercus rugosa* Née.

Sitios de muestreo

Los criterios para la selección de los sitios de muestreo en el río que tiene una longitud de 12 km, aproximadamente, se basaron en su ubicación en la cota altitudinal entre 1 680 y 1 451 m para representar las condiciones del bosque de galería. En la ribera se establecieron seis parcelas rectangulares de 20 × 50 m (1 000 m²), con 10 m de ancho en cada borde del canal normal de la corriente de

agua, las cuales estuvieron separadas entre sí por 2 km. Para ubicar las coordenadas de las parcelas se utilizó un receptor del sistema global de posicionamiento *South S750-G2*[®].

Dentro de cada una de ellas se hicieron identificaciones botánicas y mediciones a los árboles y arbustos: para alturas con el telémetro / hipsómetro Laser Nikon[®]; para diámetros y sitios con la cinta diamétrica *Stanley*[®]. La identificación de los taxa se apoyó en bibliografía especializada (Pennington y Sarukhán, 2005). Con la finalidad de medir la calidad del agua, se tomaron dos muestras en el río (250 mL) por cada sitio de muestreo, las cuales fueron enviadas al Laboratorio Agroindustrial, Suelos, Plantas y Agua, Colegio de Postgraduados (Colpos) para determinar sus principales características químicas: pH, conductividad eléctrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1}$), cloro (Cl , $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), sulfatos (SO_4^{2-} , $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), calcio (Ca^{2+} , $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) y sodio (Na^+ , $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$).

Variables de respuesta

Con el propósito de evaluar la estructura bidimensional de la vegetación arbórea se aplicó el índice de valor forestal (IVF), que se calculó como sigue (Corella *et al.*, 2001):

$$IVF = \text{Diámetro relativo} + \text{Altura relativa} + \text{Cobertura relativa}$$

Para clasificar las etapas de desarrollo de los árboles se consideraron las siguientes categorías diamétricas: brinzal (<5 cm), monte bravo (6-12 cm), vardascal (12-30 cm), alto latizal (31-50 cm) y fustal (>50 cm).

Para la diversidad arbórea, se utilizó el índice de valor de importancia (IVI), que sirvió para jerarquizar la importancia de cada especie en la vegetación ribereña, con base en las variables de dominancia (AR), densidad (DR) y frecuencia relativa (FR) (Smith y Smith, 2007):

$$\acute{IVI} = \frac{\sum_{i=1}^n (AR_i, DR_i, FR_i)}{3}$$

Tambi3n se calcul3 el 3ndice de heterogeneidad de *Shannon-Weaver* (H'), que permiti3 conocer el grado de incertidumbre, para predecir la especie a la que pertenece un individuo tomado al azar en cada uno de los sitios; es decir, la diversidad que hay en el bosque de galer3a (Somarriba, 1999):

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln(P_i)$$

Donde:

s = N3mero de especies

P_i = Proporci3n de individuos de la especie i

Se determin3 el 3ndice de similitud de *S3rensen* (ISS) para establecer la similitud flor3stica entre los sitios de muestreo, basado en la relaci3n presencia-ausencia de especies; asume valores de 1 cuando se verifica una m3xima similitud y 0 cuando es m3nima (Chao *et al.*, 2005):

$$ISS = \frac{2C}{A + B} (100)$$

Donde:

A = Número de especies en el sitio 1

B = Número de especies en el sitio 2

C = Número de especies comunes en los sitios 1 y 2

Análisis estadístico

Se usaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con pruebas de comparación de medias por el método de *Tukey* ($\alpha \leq 0.05$), independientes para cada sitio de muestreo. Se trabajó con Excel, así como el modelo de optimización múltiple en superficie de respuesta (Montgomery, 2006), con el *software* Minitab® 17 (Minitab, 2017).

Resultados y Discusión

Estructura de la vegetación arbórea

En el bosque de galería del río Xaltatempa, se inventariaron 0.6 ha⁻¹ que resultaron en una densidad de 820 árboles ha⁻¹ pertenecientes a las siguientes especies: *Alnus acuminata* Kunth (aile), *Platanus mexicana* Moric. (papalote), *Ligustrum lucidum* Ait. (trueno), *Pinus patula* Schiede ex Shltld. et Cham., (pino llorón), *Quercus rugosa* Née (encino) y *Parathesis serrulata* Sw. (naranjillo).

Con respecto al IVF, el taxón que obtuvo los valores más altos en todos los sitios fue *Platanus mexicana* (papalote), con un valor promedio para los seis sitios de muestreo de 244.92. Como se puede advertir en el Cuadro 1, las de mayor valor por sitio fueron: *Platanus mexicana*, *Alnus acuminata* y *Pinus patula* (sitio 1); *Platanus mexicana*, *Alnus acuminata*, *Pinus patula* y *Parathesis serrulata* (sitio 2); *Platanus mexicana* (sitio 3); *Platanus mexicana*, *Ligustrum lucidum* y *Alnus*

acuminata (sitio 4); *Platanus mexicana*, *Alnus acuminata* y *Ligustrum lucidum* (sitio 5); *Platanus mexicana*, *Quercus rugosa*, *Alnus acuminata* y *Parathesis serrulata* (sitio 6). Por lo tanto, la importancia estructural del bosque de galería del río Xaltatempa por su IVF se concentra en: *Platanus mexicana* (150.65 a 300) y *Alnus acuminata* (12.39 a 145.23).

Cuadro 1. Especies con mayor índice de valor forestal (IVF) para el bosque de galería del río Xaltatempa, Puebla.

Sitio	Especie	Dir	Alr	Cor	ÍVF
1	<i>Alnus acuminata</i>	21.21	21.73	7.50	50.45
	<i>Pinus patula</i>	4.43	03.70	0.33	8.46
	<i>Platanus mexicana</i>	74.36	74.57	92.17	241.09
2	<i>Alnus acuminata</i>	7.15	9.15	0.71	17.01
	<i>Parathesis serrulata</i>	3.51	5.14	0.17	8.83
	<i>Pinus patula</i>	5.28	4.12	0.39	9.78
	<i>Platanus mexicana</i>	84.06	81.59	98.72	264.38
3	<i>Platanus mexicana</i>	100.00	100.00	100.00	300.00
4	<i>Alnus acuminata</i>	7.34	9.21	0.80	17.34
	<i>Ligustrum lucidum</i>	11.54	21.46	1.97	34.97
	<i>Platanus mexicana</i>	81.12	69.33	97.24	247.69
5	<i>Alnus acuminata</i>	48.21	48.40	48.62	145.23
	<i>Ligustrum lucidum</i>	2.29	1.72	0.11	4.12
	<i>Platanus mexicana</i>	49.51	49.88	51.27	150.65
6	<i>Alnus acuminata</i>	2.28	9.86	0.06	12.19
	<i>Parathesis serrulata</i>	1.14	4.23	0.01	5.38
	<i>Platanus mexicana</i>	92.96	72.77	99.77	265.50
	<i>Quercus rugosa</i>	3.63	13.15	0.15	16.93

Dir = Diámetro relativo; Alr = Altura relativa; Cor = Cobertura relativa

Platanus mexicana, también fue la especie con el mayor IVF (244.92), el cual es alto, si se compara con el estudio realizado por Zarco *et al.* (2010), quienes al estudiar la estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca en Tabasco, registraron un IVF de 79.09 para *Rinorea guatemalensis* S. Watson.

En el área estudiada se observó un comportamiento de colonización que se evidenció en mayor proporción por *Platanus mexicana* que, al igual que *Alnus acuminata* y *Pinus patula*, dispersan sus semillas mediante el viento. De acuerdo con Sánchez (1986) existe una constante sucesión causada por los efectos de las avenidas de agua que actúan como factor de control, a partir de su período de retorno y considera que las especies están sometidas a un proceso de colonización constante.

Lo anterior se corrobora con la información del Cuadro 2, en el que se aprecia que predominan las etapas de desarrollo correspondiente a los árboles jóvenes; para *Alnus acuminata*, 35.02 % de vardascal; para *Ligustrum lucidum* 51.13 % de vardascal; para *Parathesis serrulata*, 56.25 % de monte bravo; para *Pinus patula* 48.95 % de monte bravo; para *Platanus mexicana* 29.36 % de fustal y para *Quercus rugosa* 43.35 % de monte bravo.

Cuadro 2. Etapas de desarrollo de las especies arbóreas del bosque de galería del río Xaltatempa, Puebla.

Especie	Brinzal (%)	Monte bravo (%)	Vardascal (%)	Alto latizal (%)	Fustal (%)	Total (%)
<i>Alnus acuminata</i>	5.00	19.82	35.02	26.15	14.01	100
<i>Ligustrum lucidum</i>	0.00	29.03	51.13	16.62	3.22	100
<i>Parathesis serrulata</i>	0.00	56.25	43.75	0.00	0.00	100
<i>Pinus patula</i>	0.00	48.95	22.52	28.53	0.00	100
<i>Platanus mexicana</i>	6.66	17.62	18.51	27.85	29.36	100
<i>Quercus rugosa</i>	0.00	43.35	25.64	31.01	0.00	100

Al igual que lo consignado por Sánchez (1986) para el río Pilón, en esta investigación se registraron conglomerados puros o en codominancia de *Platanus mexicana*, *Quercus rugosa*, *Pinus patula*, *Ligustrum lucidum* y *Alnus acuminata*; sin embargo, lo más común a lo largo de los bosques de galería es que no exista una dominancia estricta para ninguna especie.

Bock y Bock (1989) señalaron que algunos taxa de los bosques de galería actúan, en muchos casos, como pioneros; por ejemplo, *Platanus wrightii* S. Watson, el cual, a pesar de tener una elevada producción de plántulas, presenta un alto porcentaje de mortalidad por desecación, aunado a la pérdida de renuevos durante la creciente del caudal de los ríos. Lo anterior explicaría por qué en la vegetación del río Xaltatempa los porcentajes de individuos en etapas de alto latizal y fustal no fueron altos, sin dejar de considerar que el ecosistema ribereño es dinámico y sucesional. Al respecto, Treviño *et al.* (2001) destacaron una fuerte influencia humana sobre este tipo de bosques, cuya distribución de su vegetación en áreas favorables y su gran productividad ocasionan que sean usadas para la cosecha de madera. Sin embargo, Canizales *et al.* (2010) demostraron que no siempre las actividades humanas inciden en la riqueza, diversidad y distribución de las especies de un bosque de galería.

Diversidad de la vegetación arbórea

La diversidad de especies arbóreas del bosque de galería del río Xaltatempa, solo se concentra en seis: *Alnus acuminata* (aile), *Ligustrum lucidum* (trueno), *Platanus mexicana* (papalote), *Quercus rugosa* (encino), *Pinus patula* (pino llorón) y *Parathesis serrulata* (naranjillo); esta última con una densidad por hectárea muy baja, es poco conocida en la zona y es un arbusto menor a 7 m de altura con poco o ningún uso forestal.

En el Cuadro 3 se advierte que el taxón más destacado, por su IVI fue *Platanus mexicana* (182.71), mientras que *Parathesis serrulata* registró el valor más bajo

(7.82), lo cual puede deberse a que es una especie introducida, y en la actualidad no es dominante en ese tipo de vegetación, además su presencia en el bosque de galería no ha sido esclarecida del todo, al igual que la de *Ligustrum lucidum*.

Cuadro 3. Valores descriptivos de estructura horizontal para las especies arbóreas del bosque de galería del río Xaltatempa, Puebla.

Especie	AR (%)	DR (%)	FR (%)	ÍVI (%)
<i>Alnus acuminata</i>	7.80	15.03	33.75	56.58
<i>Ligustrum lucidum</i>	1.04	6.70	5.40	13.14
<i>Parathesis serrulata</i>	0.40	2.02	5.40	7.82
<i>Pinus patula</i>	0.43	3.85	5.50	9.78
<i>Platanus mexicana</i>	62.39	71.72	48.60	182.71
<i>Quercus rugosa</i>	27.94	0.68	1.35	29.97
Total	100	100	100	300

AR = Dominancia relativa; DR = Densidad relativa; FR = Frecuencia relativa;
IVI = Índice de valor de importancia

Platanus mexicana fue la única que se encontró a lo largo de la ribera del río Xaltatempa, donde los suelos son arcillo -arenosos y húmedos todo el año. A pesar de que en ese río la diversidad es muy baja, esta especie suma un valor de importancia alto, si se compara con los resultados de Díaz *et al.* (2012) en los bosques ribereños del río Kakada en Venezuela, quienes identificaron 110 taxa, con un valor de importancia de 163.7 para las 10 más sobresalientes.

Sin embargo, en el trabajo realizado por Treviño *et al.* (2001) en dos ríos del centro sur de Nuevo León, México, registraron 25 especies arbóreas, pero de ellas solo cuatro se consideraron dominantes en función de su valor de importancia: *Taxodium mucronatum* Ten., *Platanus occidentalis* L., *Populus wislizeni* S. Watson y *Salix nigra* Marshall.

Lo anterior supone una coincidencia importante con el presente estudio para el género *Platanus*, que en las zonas ribereñas es predominante; los valores alcanzados para el IVI en los ríos de Nuevo León, río Cabezones y río Ramos con 0.37 y 1.27, respectivamente, fueron muy bajos, respecto al de *P. mexicana* (182.71), en el río Xaltatempa, Puebla.

En cuanto a los valores de diversidad por sitio, el número 6 fue dominado por *Alnus acuminata*, *Platanus mexicana*, *Quercus rugosa* y *Parathesis serrulata*, y registró el mayor H' , de 0.73; tal sitio se ubicó en la parte más baja del río a 1 451 msnm, mientras que el número 3, ubicado en la parte media del río a 1 617 msnm y con predominancia única de *P. mexicana*, tuvo el H' más bajo, igual a cero (Cuadro 4). A pesar del valor de H' en el sitio 6, registró la menor densidad con 180 ind ha⁻¹; de ellos, 100 % correspondió a *P. mexicana* en etapa fustal y *Quercus rugosa* con 33.33 % en monte bravo. El sitio 2 presentó la densidad más alta, con 1 350 ind ha⁻¹ y árboles en su mayoría jóvenes (etapas de monte bravo y vardascal).



Cuadro 4. Valores de riqueza de especies mediante el índice de *Shannon-Weaver* (H') para el bosque de galería del río Xaltatempa, Puebla.

Sitio	Número de especies	Densidad (ind ha^{-1})	Área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)	H'
1	3	1 300	143.64	0.59
2	4	1 350	241.74	0.66
3	1	530	158.41	0.00
4	3	790	352.39	0.67
5	3	770	230.30	0.62
6	4	180	144.98	0.73
Media	3	820	235.72	0.54
DE (σ)	1.61	255	71.48	0.04
CV (%)	12.00	18.83	21.71	20.11

DE = Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación.

La cantidad aislada correspondió al sitio 3, ubicado a 1 617 msnm, solo con *Platanus mexicana*, que se observó en todos los sitios muestreados. Así, el promedio de especies distintas para la vegetación arbórea proximal al río Xaltatempa fue de tres, con una densidad promedio de 820 ind ha^{-1} , la cual se distribuyó en las cinco etapas de desarrollo brinzal, monte bravo, vardascal, alto latizal y fustal (Cuadro 2). En términos de composición estructural y diversidad, las especies dominantes por sus valores más altos en H' fueron *Alnus acuminata* (0.28) y *Platanus mexicana* (0.23). *Ligustrum lucidum*, *Pinus patula*, *Quercus rugosa* y *Parathesis serrulata* registraron valores poblacionales y de H' bajos.

Existen pocos trabajos realizados en México sobre la estructura y diversidad del bosque de galería, aunado a lo cual es complicado comparar los resultados con otras investigaciones

debido a las diferencias en los métodos de muestreo. El valor promedio obtenido (0.54) para la diversidad H' fue muy bajo para la vegetación arbórea del bosque de galería del río Xaltatempa, si se toma como referencia el índice para los bosques tropicales, entre 3.85 y 5.85 (Knight, 1975). En este contexto, Santiago *et al.* (2014) calcularon un índice de diversidad de *Shannon* de 1.8 a 2.6 en el bosque de galería de la sierra de Quila, Jalisco, solo con seis especies dominantes, como en el presente estudio, y de ellas *Alnus acuminata* como taxon en común.

La baja diversidad H' del presente estudio pudo deberse a que la vegetación del río Xaltatempa es discontinua, por su posición orográfica y topográfica en la Sierra Norte de Puebla. Al respecto, al abordar la vegetación ribereña de la barranca del río Tembembe, Camacho *et al.* (2006) citann que en la porción media-alta del río (1 110 a 1 700 msnm) son dominantes *Alnus acuminata*, *Trema micrantha* L. y *Daphnopsis salicifolia* Kunth, con un H' promedio de 1.69; lo cual explica que las grandes discontinuidades influyen en la diversidad.

Al estudiar este mismo concepto en el bosque de galería del río Ramos en el estado de Nuevo León, Canizales *et al.* (2010) detectaron siete especies, pero de ellas solo dos eran abundantes, *Taxodium mucronatum* y *Platanus occidentalis*. Díaz *et al.* (2012) documentan en el bosque ribereño del río Kakada, cuenca del río Caura en Venezuela, 110 especies representadas por helechos, arbustos, árboles, lianas, epífitas y hierbas, cuyo valor más alto de H' fue de 3.11 en los bosques estacionalmente inundables en bancos y diques, con una densidad promedio de 738 ind ha⁻¹ y área basal promedio de 29.4 m² ha⁻¹. Estos últimos son resultados inferiores a los de un bosque templado, como el de interés, con densidad promedio de 820 ind ha⁻¹ y área basal de 235.72 m² ha⁻¹ (Cuadro 4).

Finalmente, Fernández *et al.* (2012) registraron un índice de H' de 0.42 con 53 especies en el sotobosque del bosque de galería en la región de los Llanos Orientales de Colombia; argumentaron una alta beta diversidad para un valor inferior al del presente estudio ($H'=0.54$). En los sitios de muestreo, las

combinaciones pareadas muestran que para la combinación de los sitios 4 y 5 se obtuvo el valor más alto (1.00), lo cual indica que *Alnus acuminata*, *Ligustrum lucidum* y *Platanus mexicana* estaban presentes en ambos sitios (Cuadro 5). El siguiente valor fue de 0.86 y correspondió a las combinaciones de los sitios pareados 1 y 2, donde las especies comunes fueron *Alnus acuminata*, *Pinus patula* y *Platanus mexicana*.

Cuadro 5. Combinaciones pareadas mediante el índice de similitud de Sørensen (ÍSS) para el bosque de galería del río Xaltatempa, Puebla.

Núm.	Combinación	A	B	A+B	C	ÍSS
1	Sitio 1 × sitio 2	3	4	7	3	0.86
2	Sitio 1 × sitio 3	3	1	4	1	0.50
3	Sitio 1 × sitio 4	3	3	6	2	0.67
4	Sitio 1 × sitio 5	3	3	6	2	0.67
5	Sitio 1 × sitio 6	3	4	7	3	0.86
6	Sitio 2 × sitio 3	4	1	5	1	0.40
7	Sitio 2 × sitio 4	4	3	7	2	0.57
8	Sitio 2 × sitio 5	4	3	7	2	0.57
9	Sitio 2 × sitio 6	4	4	8	3	0.75
10	Sitio 3 × sitio 4	1	3	4	1	0.50
11	Sitio 3 × sitio 5	1	3	4	1	0.50
12	Sitio 3 × sitio 6	1	4	5	1	0.40
13	Sitio 4 × sitio 5	3	3	6	3	1.00
14	Sitio 4 × sitio 6	3	4	7	2	0.57
15	Sitio 5 × sitio 6	3	4	7	3	0.86

En los sitios 1 y 6 con el mismo valor, los taxa coincidentes fueron *Alnus acuminata* y *Platanus mexicana*; los cuales también estuvieron en los sitios 5 y 6. En contraste, el índice más bajo (0.40) se concentró en dos combinaciones pareadas entre los sitios 2 y 3, así como 3 y 6, con la misma especie, *Platanus mexicana*.

Al aplicar el ISS en el bosque de galería del río Xaltatempa, el promedio para los seis sitios de muestreo fue de 0.64, lo cual indica que *Alnus acuminata*, *Ligustrum lucidum*, *Platanus mexicana*, *Quercus rugosa*, *Pinus patula* y *Parathesis serrulata* estaban presentes al menos en un sitio; por ello, el ISS guarda una relación de dependencia del total de especies en el ecosistema estudiado y del número de taxa compartido (Chao *et al.*, 2005).

En las combinaciones pareadas, los sitios 4 (1 586 msnm) y 5 (1 536 msnm) se registró el ISS más alto (1.00). Al respecto, Treviño *et al.* (2001) reconocieron una gran semejanza entre poblaciones arbóreas dominadas por *Platanus occidentalis*, *Populus wislizenii*, *Salix nigra* y *Taxodium mucronatum* ubicadas en los ríos Cabezones y Ramos, con un ISS = 0.649, el cual es alto para 25 especies arbóreas registradas, pero solo con cuatro dominantes. En el caso del río Xaltatempa fueron seis especies, con dos dominantes: *Platanus mexicana* y *Alnus acuminata*.

Fernández *et al.* (2012), al estudiar la biodiversidad asociada a plantaciones forestales de *Pinus caribaea* Morelet y *Eucalyptus pellita* F. Muell. calcularon una alta diversidad beta (84.1 %). Sin embargo, el coeficiente cuantitativo de *Sørensen* fue bajo (0.16) para la combinación pareada pino vs eucalipto. Esto sugiere que, a pesar de compartir un porcentaje elevado de especies, las abundancias se distribuyeron de forma desigual, lo que los hace estructuralmente diferentes en comunidades disímiles, de acuerdo al conjunto de condiciones y factores que regulan la sucesión.

Camacho *et al.* (2006) obtuvieron un máximo coeficiente de similitud de *Sørensen* (75 %) en sitios con una densidad de 3 200 a 3 300 ind ha⁻¹ aunque no fueron los que compartieron el mayor número de especies (siete) de la vegetación ribereña del

río Tembembe. Tal situación es similar a lo registrado en el presente estudio en el que los sitios con mayores coincidencias (combinación 4 y 5) no necesariamente fueron los de mayor densidadarbórea, pues la máxima se ubicó en el sitio 2, con 1 350 ind ha⁻¹ (Cuadro 4), en la parte alta del río, a 1 656 msnm.

Calidad del agua

Por lo que respecta a los resultados químicos de las muestras de agua del río Xaltatempa, el pH se mantuvo dentro de la neutralidad con ligera tendencia hacia la alcalinidad (7.64 a 7.75), como consecuencia del acarreo de diversos materiales carbonatados y de los afluentes provenientes de manantiales (Cuadro 6). La conductividad eléctrica se incrementó hacia las partes más bajas del río y alcanzó hasta 695.11 $\mu\text{S cm}^{-1}$; por ello, la concentración de cloruros, sulfatos, carbonatos y sodio, también presentó un leve aumento en relación directa a la CE, que fue superior en el sitio más bajo (1 451 msnm).

Cuadro 6. Composición química del agua en seis sitios de muestreo en el bosque de galería del río Xaltatempa, Puebla.

Característica química	Sitio 1 (1 680 m)	Sitio 2 (1 656 m)	Sitio 3 (1 617 m)	Sitio 4 (1 586 m)	Sitio 5 (1 536 m)	Sitio 6 (1 451 m)
pH	7.64	7.68	7.70	7.71	7.73	7.75
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	384.50	391.28	440.00	493.77	555.10	695.11
Cl ($\text{mmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$)	0.29	0.29	0.31	0.31	0.33	0.33
SO ₄ ²⁻ ($\text{mmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$)	0.15	0.24	0.37	0.45	0.50	0.57
Ca ²⁺ ($\text{mmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$)	0.18	0.18	0.20	0.22	0.23	0.27
Na ⁺ ($\text{mmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$)	0.92	0.99	1.15	1.18	1.20	1.20

La vegetación aledaña al río Xaltatempa fue, en su mayoría, de tipo perenne-arbustiva, con muy baja predominancia de especies herbáceas, debido a que en la época de más precipitación pluvial (junio a octubre) el caudal del río crece e inunda las partes bajas de sus bordes, lo que propicia la condición de anaerobiosis que impide el desarrollo de hierbas todo el año. Se reconocen hasta cinco estratos verticales, con base en la presencia de individuos en diferentes etapas de desarrollo; de ellos, solo *Platanus mexicana* y *Alnus acuminata* portan tallas comerciales.

Al respecto, Colonnello (1990) y Granados *et al.* (2006) indicaron que, únicamente, las especies adaptadas a una condición de poca oxigenación en el suelo, tolerancia a periodos cortos de inundación y sistemas radicales profundos pueden adaptarse y ser exitosas en el ambiente ribereño; en el presente estudio, *Platanus mexicana* y *Alnus acuminata* son las mejor adaptadas.

En los seis sitios de muestreo, ubicados en el intervalo altitudinal entre 1 451 y 1 680 m, el análisis de la calidad del agua del río Xaltatempa no reveló efectos antropogénicos que ocasionaran contaminación; lo cual sugiere que la vegetación arbórea del bosque de galería cumple su función estabilizadora de reducir las amenazas de la erosión y los deslizamientos que podrían resultar en sedimentación de los cuerpos de agua, y que pondría en riesgo la conservación del hábitat.

La CE se incrementó ligeramente en las partes más bajas del río; sin embargo, las muestras de agua indicaron que la concentración de electrolitos es adecuada para el consumo humano, así como para las actividades agropecuaria y forestal, puesto que el agua potable tiene una CE de 5-50 mS m⁻¹, según los índices de calidad del agua (Torres *et al.*, 2009). Es por ello, que la acumulación de cloruros, sulfatos, carbonatos y sodio, también presentó un ligero aumento en relación directa a la CE (Cuadro 6), en las partes más bajas del río, como consecuencia del arrastre de los diversos minerales a lo largo de sus 12 km.

Conclusiones

La estructura de la vegetación arbórea del bosque de galería del río Xaltatempa, estudiada a partir de la medición de diámetros, alturas y coberturas relativas; así como por las etapas de desarrollo, indicó que el taxón más importante es *Platanus mexicana*, el cual se presenta a lo largo del río con valores superiores a otras especies.

La diversidad de la vegetación arbórea manifiesta una baja riqueza específica, con solo seis especies: *Alnus acuminata*, *Ligustrum lucidum*, *Parathesis serrulata*, *Pinus patula*, *Platanus mexicana* y *Quercus rugosa*; la parte más baja del río es la más diversa. Por combinaciones pareadas, *Alnus acuminata*, *Ligustrum lucidum* y *Platanus mexicana*, se localizan siempre en la parte intermedia del río.

La concentración de los cloruros, sulfatos, carbonatos y sodio es mayor en la parte más baja del río Xaltatempa, como consecuencia del arrastre; sin embargo, esto no afecta la calidad del agua para su uso en las actividades agropecuaria y forestal, así como para el consumo humano.

Agradecimientos

El autor desea expresar su reconocimiento al Complejo Regional Norte de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por todas las facilidades otorgadas en el desarrollo de la investigación. El estudio aquí descrito fue financiado por el proyecto PRODEP 511-6/17-8017.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Jesús Mao Estanislao Aguilar Luna: responsable del diseño y ejecución del estudio descrito y de la elaboración y corrección del manuscrito.

Referencias

Acosta, C., A. Mondragón y H. Alvarado. 2008. Contribución de la flora arbórea de un sector del bosque ribereño "Los Letreros", estado Trujillo, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 52 (1): 21-31.

Aguirre C., O. A. 2002. Índices para la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de ecosistemas forestales. *Ciencia Forestal en México* 27 (92): 5-27.

Bock, J. H. and C. E. Bock. 1989. Factors limiting sexual reproduction in *Platanus wrightii* in Southeastern Arizona. *Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany* 12 (2): 295-301.

Camacho, R. F., I. Trejo y C. Bonfil. 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.

Canizales P., A., G. J. Alanís, S. Favela, M. Torres, E. Alanís, J. Jiménez y H. Padilla. 2010. Efecto de la actividad turística en la diversidad y estructura del bosque de galería en el noreste de México. *Ciencia UANL* 13 (1): 55-63.

Chao, A., R. L. Chazdon, R. K. Colwell and T. J. Shen. 2005. A new statistical approach for assessing similarity of species composition with incidence and abundance data. *Ecology Letters* 8 (2): 148-159.

- Colonnello, G. 1990. Elementos fisiográficos y ecológicos de la cuenca del Río Orinoco y sus rebalses. *Interciencia* 15: 476-485.
- Corella J., F., J. I. Valdez H., V. M. Cetina A., F. V. González C., S. A. Trinidad y J. R. Aguirre R. 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. *Ciencia Forestal en México* 26 (90): 73-102.
- Cortés C., J. C. y G. A. Islebe. 2005. Influencia de factores ambientales en la distribución de especies arbóreas en las selvas del sureste de México. *Revista de Biología Tropical* 53 (1-2): 115-133.
- Díaz P., W., F. Daza y W. Sarmiento. 2012. Composición florística, estructura y diversidad del bosque ribereño del río Kakada, Cuenca del río Caura, estado Bolívar, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola* 12 (2): 275-289.
- Fernández M., F., Y. Camargo M. y M. Sarmiento. 2012. Biodiversidad vegetal asociada a plantaciones forestales de *Pinus caribaea* Morelet y *Eucalyptus pellita* F. Muell establecidas en Villanueva, Casanare, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín* 65 (2): 6749-6764.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. 5ª edición. México, D. F., México. 93 p.
- Granados S., D., M. A. Hernández y G. F. López R. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12 (1): 55-69.
- Knight, D. H. 1975. A phytosociological analysis of species-rich tropical forest on Barro Colorado Island, Panamá. *Ecological Monographs* 45 (3): 259-284.
- Meli, P., M. Martínez R., J. M. Rey B. and J. Carabias. 2014. Combining ecological, social, and technical criteria to select species for forest restoration. *Applied Vegetation Science* 17: 744-753.

- Meli, P., L. Ruiz, R. Aguilar, A. Rabasa, J. M. Rey B. y J. Carabias. 2017. Bosques ribereños del trópico húmedo de México: un caso de estudio y aspectos críticos para una restauración exitosa. *Madera y Bosques* 23 (1): 181-193.
- Méndez, T., I. H. Zermeño and M. G. Ibarra. 2014. Effect of land use on the structure and diversity of riparian vegetation in the Duero river watershed in Michoacán, Mexico. *Plant Ecology* 215: 285-296.
- Minitab Inc. 2017. Software para estadísticas de Minitab, Versión 17 en español para Windows. State College, Pennsylvania. <http://www.minitab.com> (3 de febrero de 2017).
- Montgomery, D. 2006. Diseño y análisis de experimentos. Limusa Wiley. México, D. F., México. 686 p.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Fondo de Cultura Económica, ONU-FAO, UNAM. México, D.F., México. 523 p.
- Richardson, D. M., P. M. Holmes, K. J. Esler, S. M. Galatowitsch, J. C. Stromberg, S. P. Kirkman, P. Pyšek and R. J. Hobbs. 2007. Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects. *Diversity Distribution* 13 (1): 126-139.
- Román D., F. J., S. Levy T., J. Aronson, R. Ribeiro R. and J. Albores. 2012. Testing the performance of fourteen native tropical tree species in two abandoned pastures of the Lacandona rainforest region of Chiapas, Mexico. *Restoration Ecology* 20 (3): 378-386.
- Romero, F., M. A. Cozano, R. A. Gangas y P. I. Naulin. 2014. Zonas ribereñas: protección, restauración y contexto legal en Chile. *Bosque* 35 (1): 3-12.
- Sánchez S., R. 1986. Vegetación de galería y sus relaciones hidrogeomorfológicas. *Ingeniería Hidráulica en México* 1: 70-78.

- Santiago P., A. L., A. Ayón E., V. C. Rosas E., F. A. Rodríguez Z. y S. L. Toledo G. 2014. Estructura del bosque templado de galería en la sierra de Quila, Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (24): 144-159.
- Smith, T. M. y R. L. Smith. 2007. *Elementi di Ecología*. Pearson Benjamin Cummings. Sesta edizione. Roma, Italia. 706 p.
- Somarriba, E. 1999. Diversidad Shannon. *Revista Agroforestería en las Américas* 6 (23): 72-74.
- Torres P., H., C. Cruz y P. J. Patiño. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* 8 (15): 79-94.
- Treviño G., E. J., C. Cavazos C. y O. A. Aguirre C. 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del centro sur de Nuevo León. *Madera y Bosques* 7 (1): 13-25.
- Ward, J., K. Tockner, D. Arscott and C. Claret. 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* 47: 517-539.
- Zarco E., V. M., J. I. Valdez H., G. Ángeles P. y O. Castillo A. 2010. Estructura y composición de la vegetación arbórea del parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26 (1): 1-17.