

Evaluación de un bosque ribereño mediante la aplicación del índice de calidad del bosque (QBR) para su adaptación en zonas tropicales de México

Assessment of a riparian forest by applying the forest quality index (QBR) for its adaptation in tropical areas of Mexico

Victorio Moreno-Jiménez ^{1,2*}, Lilia M. Gama-Campillo ², Susana Ochoa-Gaona ³, Wilfrido M. Contreras-Sánchez ², Ena E. Mata-Zayas ², Nelly del C. Jiménez-Pérez ², Abisag A. Ávalos-Lázaro ¹.

- Recibido: 09/Ago/2020
- Aceptado: 09/Jun/2021
- Publicación en línea: 23/Jun/2021

Citación: Moreno-Jiménez V, Gama-Campillo LM, Ochoa-Gaona S, Contreras-Sánchez WM, Mata-Zayas EE, Jiménez-Pérez NC, Ávalos-Lázaro AA. 2022. Evaluación de un bosque ribereño mediante la aplicación del índice de calidad del bosque (QBR) para su adaptación en zonas tropicales de México. *Caldasia* 44(2):421-431. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.87087>

ABSTRACT

The QBR index makes it possible the assessment of the quality of riparian forests. Therefore, QBR index was determined and correlated with attributes of vegetation and natural regeneration in five sites of the Tacotalpa River, Tabasco, Mexico: Tapijulapa, Arroyo Chispa, Nuevo Madero, Mexiquito, and Oxolotán. At each site, ten transects of 10 x 100 m sides, 20 squares of 10 x 10 m for vegetation sampling with DBH \geq 1 cm and, 20 squares of 1 x 1 m for characterizing the natural regeneration. The values of QBR, structure, and diversity, were compared using a single factor ANOVA. In addition, a principal component analysis was performed between the QBR Index with vegetation variables. The QBR index ranged from 48.40 % and 91.10 %. Sites Mexiquito and Oxolotán showed good and very good quality (79.40 % and 91.10 %), with significant differences with Tapijulapa and Arroyo Chispa of acceptable and poor quality (56.60 % and 48.40 % respectively), but Nuevo Madero, of acceptable condition (67.90 %), did not show differences with Tapijulapa and Mexiquito, except Arroyo Chispa and Oxolotán. The QBR values were positively correlated with the richness and diversity of plants species, showing a tendency to improve in Tapijulapa together with Nuevo Madero, Mexiquito and Oxolotán. These values strengthen the hypothesis that ecological attributes provide greater reliability in the scores of the quality of riparian vegetation in tropical rivers.

Keywords: Forest quality, habitat disturbance, true diversity, natural regeneration.

¹ Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad Maya de Estudios Agropecuarios. Carretera Catazajá-Palenque Km 4. CP. 29980 Catazajá, Chiapas.

² Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Biológicas. Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5. S/N, Entronque a Bosques de Saboya. CP. 86150 Tabasco. victorm992@hotmail.com, lillygama@yahoo.com, contrerw@hotmail.com, ena.mata@ujat.mx, abi_avaloslazaro@outlook.com, njjimenezp@gmail.com

³ Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur. Av. Rancho Polígono No. 2^o, Col. Ciudad Industrial, Lerma. CP 24500, Campeche, Campeche. sochoa@ecosur.mx

* Autor para correspondencia.



RESUMEN

El índice QBR permite evaluar de forma rápida la calidad de bosques ribereños. Por ello, se determinó el índice QBR y se correlacionó con atributos de vegetación y regeneración natural en cinco sitios del río Tacotalpa, Tabasco, México: Tapijulapa, Arroyo Chispa, Nuevo Madero, Mexiquito y Oxolotán. En cada sitio se establecieron diez transectos de 10 x 100 m de lado, 20 cuadros de 10 x 10 m para muestreo de vegetación con DAP \geq 1 cm y 20 cuadros de 1 x 1 m para caracterizar la regeneración natural. Los valores de QBR, estructura y diversidad, fueron comparados empleándose un ANOVA de un factor. Además, se realizó un análisis de componentes principales entre el Índice de QBR con variables de vegetación. El índice de QBR osciló entre 48,40 % y 91,10 %. Los sitios Mexiquito y Oxolotán presentaron calidad buena y muy buena (79,40 % y 91,10 %), mostrando diferencias significativas con Tapijulapa y Arroyo Chispa de calidad aceptable y mala (56,60 % y 48,40 % respectivamente), pero Nuevo Madero fue de condición aceptable (67,90 %) no mostró diferencias con el Tapijulapa y Mexiquito, excepto Arroyo Chispa y Oxolotán. Los valores de QBR se correlacionaron positivamente con la riqueza y diversidad de especies vegetales mostrando tendencia a mejorar en Tapijulapa junto con Nuevo Madero, Mexiquito y Oxolotán. Estos valores fortalecen la hipótesis de que los atributos ecológicos proveen mayor confiabilidad en los puntajes del índice de calidad de la vegetación ribereña en ríos tropicales.

Palabras claves: Calidad del bosque, perturbación del hábitat, diversidad verdadera, regeneración natural.

INTRODUCCIÓN

Los bosques ribereños han sido fuertemente alterados por el cambio del uso de suelo a nivel mundial (Tanaka *et al.* 2016). Las comunidades vegetales ribereñas tienen una gran importancia en el mantenimiento de la biodiversidad y regulación de procesos biológicos y físicos de los ecosistemas asociados a ríos y arroyos. Además, los sistemas ribereños proveen recursos secundarios para la población humana, inspiración cultural y valores emocionales (Camacho-Rico *et al.* 2006). Estas funciones están relacionadas con la dimensión de la continuidad longitudinal, la composición y estructura de la vegetación de los corredores ribereños (Rosales *et al.* 2001, Scott *et al.* 2009, González del Tánago y García de Jalón 2011). Es tal la importancia de estos ecosistemas que a nivel mundial existen diversos estudios que documentan su influencia en el entorno (Naiman y Decamps 1997, Camporeale y Ridolfi 2006, Granados-Sánchez *et al.* 2006, Dosskey *et al.* 2010, Zotlina y Verkovich 2012), así como en los cambios temporales y espaciales de la continuidad del sistema ribereño a lo largo de un corredor fluvial, provocado por el cambio de uso de suelo (Wissmar y Beschta 1998, Yang *et al.* 2011).

Actualmente, se han aplicado algunos métodos para la determinación de la calidad de los ecosistemas ribereños en ríos permanentes tales como: el Riparian Quality Index (González del Tánago *et al.* 2006), el Índice de Hábitat Fluvial Palma *et al.* (2009) y el índice Riparian Forest Evaluation (Magdaleno y Martínez 2014). Sin embargo, el índice de calidad del bosque ribereño, QBR, por su abreviatura en catalán (Qualitat del Bosc de Ribera) y en inglés como Riparian Forest Quality, propuesto por Munné *et al.* (1998, 2003) y Suárez *et al.* (2002) se ha popularizado (Palma *et al.* 2009) ya que, entre otras virtudes usa características fácilmente identificables y medibles en campo (Munné *et al.* 1998, 2003, Suárez *et al.* 2002).

El índice QBR permite evaluar de forma rápida la calidad de bosques ribereños asociados a los ríos y se ha usado ampliamente en los ríos mediterráneos (Suárez *et al.* 2002, González del Tánago y García de Jalón 2011), en algunos ríos chilenos (Fernández *et al.* 2009, Palma *et al.* 2009), en Ecuador y Perú (Acosta *et al.* 2009), en Argentina (Kutschker *et al.* 2009, Fernández *et al.* 2016), en Colombia (Posada-Posada y Arroyave-Maya 2015) y en una zona templada de México (Rodríguez-Téllez *et al.* 2012).

En los bosques ribereños de zonas tropicales del sureste mexicano aún es incipiente el uso de este índice, debido a que la riqueza de especies y la complejidad estructural de estos sistemas podría subestimar el resultado. Por ello, el objetivo de la presente investigación fue determinar la calidad del bosque ribereño mediante el índice de QBR relacionándolo con los atributos ecológicos de vegetación ribereña en cinco sitios del río Tacotalpa del sureste de México (estado Tabasco), planteándose además un nuevo aporte en el método. La hipótesis planteada fue que se esperaba encontrar diferencias entre los sitios y que el índice QBR se correlacione con los atributos ecológicos de la vegetación. La combinación de este índice con los atributos ecológicos de vegetación es una herramienta que puede contribuir a generar planes de manejo integral y diseñar estrategias de conservación y restauración para recuperar la continuidad y los servicios ecosistémicos de los corredores ribereños y sus áreas contiguas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio corresponde a la subcuenca del río Tacotalpa, estado de Tabasco, México, en la parte media de la cuenca Grijalva-Villahermosa (INEGI c2000). El área donde se ubicaron los sitios de estudio pertenecen a la región sierra de Tabasco rodeada al sur, este y oeste con la sierra norte del estado de Chiapas (Ortiz-Pérez *et al.* 2005) (Fig. 1). Los sitios de estudio se encuentran ubicados en las márgenes del río Tacotalpa perteneciente a la sierra de Tabasco. A lo largo del río Tacotalpa se ubicaron cinco sitios: Tapijulapa (S1, 17°27' Norte, -92°46' Oeste), Arroyo Chispa (S2, 17°26' Norte, -92°45' Oeste), Nuevo Madero (S3, 17°24' Norte, -92°45' Oeste), Mexiquito (S4, 17°23' Norte, -92°44' Oeste) y Oxolotán (S5, 17°22' Norte, -92°44' Oeste) entre 211 a 236 m de altitud (Fig. 1). El clima es cálido húmedo con lluvias todo el año (Af), con temperatura pro-

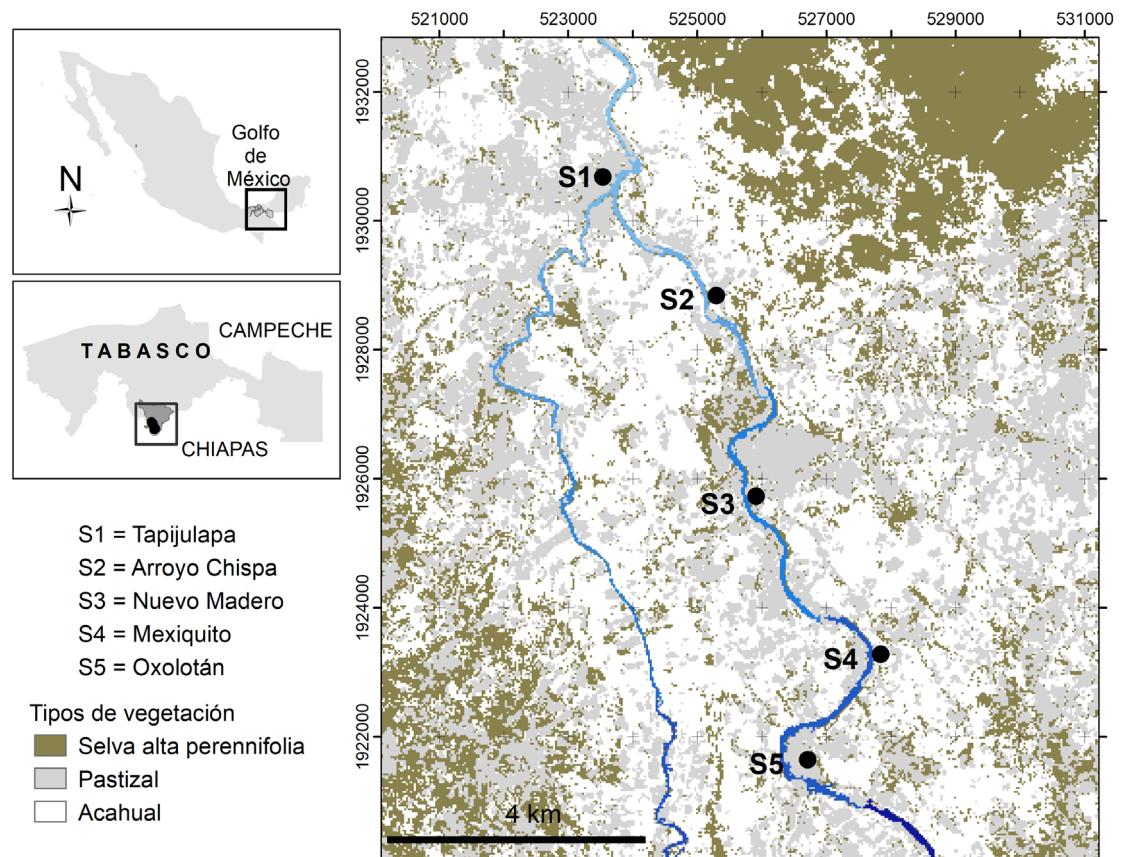


Figura 1. Ubicación geográfica de los cinco sitios y transectos para la aplicación del QBR en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.

medio de 269 °C y precipitación media anual de 2458 mm (INEGI c2000). La zona se caracteriza por laderas inclinadas, escarpadas, sobre rocas calizas, lutitas areniscas y sedimentos aluviales en las partes bajas (Zavala-Cruz *et al.* 2011). Como lo manifiestan Moreno-Jiménez *et al.* (2019) y Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares (2010), la vegetación original de la zona estuvo compuesta con especies como *Brosimum alicastrum* Sw., *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith, *Nectandra* sp. y *Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken, pertenecientes a la selva alta perennifolia.

Aplicación del índice de QBR

Para determinar el índice de calidad del bosque ribereño, se establecieron de manera sistemática en cada sitio diez transectos de 10 m de ancho por 100 m de longitud, paralelos a la orilla del río, es decir, el primer transecto se ubicó al azar y el resto fueron distanciados 100 m entre sí. Los criterios para la ubicación de los transectos fueron la facilidad del acceso y la altitud. La evaluación del índice de QBR se realizó con el método de Munné *et al.* (1998, 2003), quienes plantean evaluar ambos márgenes del río como un conjunto, considerando los cuatro apartados de evaluación: grado de cobertura vegetal, estructura de la cobertura vegetal, calidad de la cobertura vegetal y grado de alteración del canal fluvial. Estos autores mencionan que el valor de cada apartado oscila entre cero y 25 puntos y la suma de los cuatro elementos puede variar de cero a 100 puntos, dependiendo de la condición del bosque ribereño. La puntuación final considera cinco categorías de calidad de acuerdo con los valores finales del índice de QBR que son: pésima, mala o deficiente, intermedia

o aceptable, buena y muy buena (Tabla 1). La evaluación fue directa sobre las márgenes del río a un mínimo de 10 m, considerado como zona federal según la Ley de Aguas Nacionales Mexicanas (DOF c2020). El método de Munné *et al.* (2003) se complementó mediante la inclusión de atributos ecológicos de vegetación ribereña y regeneración natural después de la suma total de los valores del índice de QBR como un aporte para su análisis mediante correlaciones entre los valores del índice de QBR y los atributos de la vegetación.

Muestreo de vegetación ribereña y regeneración natural

Para complementar el análisis del índice de calidad del bosque ribereño se censaron todos los árboles y arbustos con diámetro a la altura de pecho (DAP) ≥ 1 cm. Para ello, cada transecto se dividió en 10 cuadros de 10 x 10 m. Posteriormente, se seleccionaron al azar dos unidades de muestreo (UM) de 10 x 10 m en cada transecto. En total se registraron 20 unidades de muestreo (UM) por sitio. Para el muestreo de las plantas que están en proceso de regeneración natural, se estableció una UM jerárquica de 1 x 1 m (1m²) dentro de cada cuadro de 10 x 10 m, y se apoyó con el método de Sánchez-Pérez *et al.* (2011) que consiste en medir todos los individuos arbóreos con altura de ≤ 1,30 m, registrando datos del diámetro a partir de 15 cm sobre el nivel del suelo, altura y densidad de individuos. La identificación de especies se apoyó en los listados florísticos y manuales de identificación de especies leñosas de la región (Gutiérrez 2004, Pennington y Sarukhán 2005, Pérez *et al.* 2005, Lira-Noriega *et al.* 2007, Espinoza-Jiménez *et al.* 2014, Gómez-Domínguez *et al.* 2015, Moreno-Jiménez *et al.* 2017). Para asignar el nombre correcto de las especies se utilizó la base de datos The Plant List (TPL c2013). Algunas especies en proceso de regeneración no se lograron determinar, debido a que la mayoría son plántulas sin estructuras reproductivas y por lo tanto, se contabilizaron como morfoespecies.

Diversidad de especies

La diversidad verdadera se analizó con la ecuación de Jost (2006), al elevar el valor del índice de diversidad de Shannon Wiener en exponencial, tal como la siguiente ecuación: ${}^1D = \text{Exp} [-\sum pi \times \ln(pi)]$, donde 1D = diversidad verdadera de orden 1, pi = proporción de individuos de la i-ésima especie y se determinó con la siguiente fórmula: $pi = ni/N$, donde ni = número de individuos de cada especie dividido entre N = número total de individuos de todas las especies registradas por sitio (Moreno *et al.* 2011). En el

Tabla 1. Rangos de puntuación de la condición del bosque ribereño del río Tacotalpa, Tabasco, México.

Valor QBR	Nivel de calidad
91-100	Vegetación ribereña sin alteraciones, estado natural. Calidad muy buena
71-90	Vegetación ribereña ligeramente perturbada. Calidad buena
51-70	Inicio de alteración importante. Calidad intermedia o aceptable
31-50	Alteración fuerte. Calidad mala o deficiente
0-30	Degradación extrema. Calidad pésima

Adaptado de Munné *et al.* (2003), Acosta *et al.* (2009), Posada-Posada y Arroyave-Maya (c2015).

análisis, se consideraron el valor de la diversidad verdadera de orden cero (0D) que es equivalente a la riqueza de especies por sitio (S) y el orden 1 (1D) obtenido con el exponencial de Shannon (Moreno *et al.* 2011, Jost y González-Oreja 2012), mientras que la equitatividad con la ecuación $E = H' / \ln(S)$ (Magurran y McGill 2011).

Análisis estadísticos

Con la finalidad de comparar y determinar diferencias significativas de los valores del índice de QBR, de los atributos de vegetación ribereña con $DAP \geq 1$ cm y de regeneración natural con diámetro de $\leq 1,30$ cm entre los sitios evaluados se realizó un análisis de varianza de un factor, seguido de pruebas de Tukey (Pérez 2018). Para explorar interacciones y determinar cuál de los atributos ecológicos de vegetación ribereña pueda correlacionarse con el índice de QBR, se realizó un análisis de correlación de Pearson y uno de componentes principales (ACP) entre los valores del índice de QBR con la riqueza, diversidad verdadera de orden 0 y 1, densidad, DAP y altura de las especies vegeta-

les. El ANOVA de un factor y la correlación de Pearson se realizaron en SPSS (Castañeda *et al.* 2010) y el ACP mediante el programa PAST de Hammer (2012). Las pruebas estadísticas se realizaron con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$ para el QBR y los atributos ecológicos de vegetación ribereña.

RESULTADOS

Índice de calidad del bosque ribereño (QBR)

Los valores promedio del índice de QBR oscilaron entre 48,40 y 91,10 %, mostrando diferencia significativa entre sitios ($F_{4,45} = 15,39$, $P < 0,05$). El S5 presentó calidad muy buena (91,10 %) y el S4 calidad buena (79,40 %), siendo estadísticamente diferentes con respecto al S1, de condición aceptable (56,60 %), y al S2, de mala calidad (48,40 %). El S3 obtuvo valor intermedio (67,90 %) con calidad aceptable sin diferencia significativa con el S1 y S4, excepto con el S2 y S5 (Fig. 2).

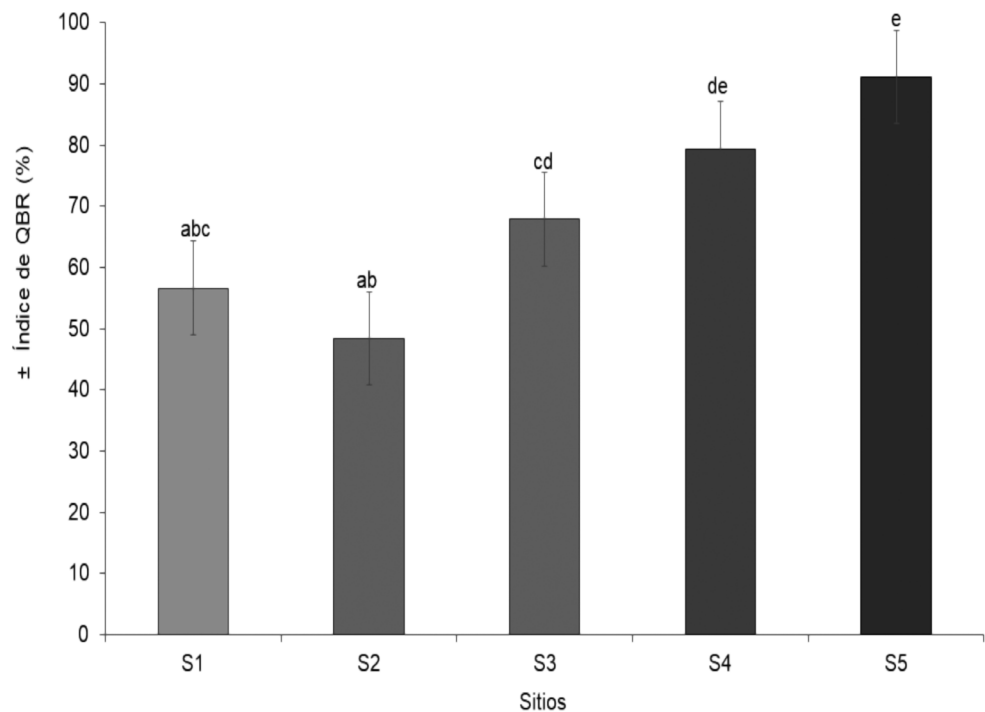


Figura 2. Comparación de medias del índice QBR en cinco sitios en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. Letras diferentes indican diferencias significativas probadas con un nivel de significancia 0,05. Las barras indican el error típico del índice de QBR en 10 transectos de 10 x 100 m (10,000 m²).

Vegetación ribereña y regeneración natural

La regeneración natural estuvo representada por un total de 1087 individuos, distribuidos en 86 especies, 53 géneros y 26 familias botánicas. Los valores promedio de densidad de individuos, diámetro a la altura de pecho (DAP) y altura de los árboles ribereños con $DAP \geq 1$ cm mostraron diferencias significativas entre algunos sitios ($P < 0,05$). La densidad de los sitios S1 y S4 mostró diferencia significativa frente a los S2 y S5, mientras que el S3 obtuvo un valor intermedio (51,20 individuos) (Tabla 2). El valor promedio del DAP de los árboles ribereños del S2 (11,07 cm) fue mayor y diferente con el S1 (5,68), pero sin diferencia con el resto de los sitios. La *Ceiba pentandra* (L.) Gaerth fue la especie que aportó mayor diámetro en el S2 (179,53 cm) y *Piper* sp. (1,33 cm) con el menor diámetro. El S1 presentó menor altura de los árboles (4,73 m) con una diferencia significativa con respecto a los S2, S3 y S5, y sin diferencia significativa con el S4 $F_{4,45} = 9,07$, $P < 0,05$). Para los atributos ecológicos de regeneración natural no se mostraron diferencias significativas entre los sitios ($P > 0,05$) (Tabla 2).

Correlación entre el índice de QBR y atributos de vegetación ribereña

La riqueza (orden 0) y la diversidad de especies (orden 1) se correlacionaron positivamente con el índice de QBR ($P < 0,01$), es decir, estos atributos podrían aumentar al subir el nivel de calidad del bosque ribereño. El resto de los atributos ecológicos presentaron correlaciones débiles (Tabla 3). Así mismo, el análisis de componentes principales permitió visualizar la asociación entre algunas variables de vegetación ribereña con el índice de calidad del bosque ribereño (QBR). Para ello, se consideraron los primeros tres componentes (valores propios > 1) que en conjunto explican el 65 % de la variación, siendo esta una proporción representativa, y solo se excluye el 35 % de la varianza. La Fig. 3 muestra la disposición espacial de las unidades muestrales sobre un plano cartesiano, siendo estas el 48,97 % de la varianza total de datos. Las variables riqueza, diversidad y densidad para árboles (Div-ar, Riq-ar y Den-ar) y regeneración (Div-reg, Riq-reg y Den-reg), junto con el índice de QBR se correlacionaron positivamente en el componente 1, donde Div-ar y Riq-ar tuvieron valores

Tabla 2. Comparación de medias de Tukey de los atributos estructurales y diversidad de vegetación ribereña en cinco sitios de los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México.

Atributos ecológicos	Sitios				
	S1	S2	S3	S4	S5
Árboles ribereños con $DAP \geq 1$ cm					
Riqueza (orden 0)	17,00 ^a	12,50 ^a	17,80 ^a	16,80 ^a	15,80 ^a
Diversidad (orden 1)	11,28 ^a	7,96 ^a	11,52 ^a	10,75 ^a	12,00 ^a
Densidad de individuos	67,90 ^a	36,00 ^b	51,20 ^{ab}	57,50 ^a	36,90 ^b
DAP (cm)	5,68 ^a	11,07 ^b	9,28 ^{ab}	8,09 ^{ab}	9,11 ^{ab}
Altura (m)	4,73 ^a	8,20 ^b	6,97 ^b	6,34 ^{ab}	6,95 ^b
Regeneración natural					
Riqueza (orden 0)	6,60 ^a	5,70 ^a	8,90 ^a	7,40 ^a	7,20 ^a
Diversidad (orden 1)	4,48 ^a	4,06 ^a	6,53 ^a	5,04 ^a	5,22 ^a
Densidad de individuos	22,70 ^a	15,50 ^a	25,40 ^a	27,60 ^a	17,50 ^a
DAP (mm)	2,90 ^a	4,21 ^a	4,30 ^a	3,21 ^a	3,46 ^a
Altura (cm)	23,11 ^a	41,99 ^a	38,46 ^a	26,89 ^a	30,83 ^a

Letras diferentes indican diferencias significativas con nivel de significancia 0,05.

mayores que el resto (0,39 y 0,43 respectivamente). En el componente 2, el índice de QBR se asoció positivamente con la mayoría de los atributos de vegetación, excepto la densidad de los árboles (Den-ar) y regeneración (Den-reg) ribereños (Fig. 3).

DISCUSIÓN

Índice de Calidad del Bosque Ribereño (QBR)

Las actividades antropogénicas provocan diferentes grados de perturbación en los bosques ribereños (Burton et al. 2005, Pennington et al. 2010, Sunil et al. 2010, Fernández et al. 2016, Díaz-Pascasio et al. 2018). El S2 reafirma este comportamiento al registrar menor promedio de riqueza y diversidad de especies (12,50 y 7,96 respectivamente) (Tabla 3) y mala calidad (48,40 %) (Fig. 2), en comparación con los sitios restantes. Del mismo modo, el índice de QBR disminuye significativamente del S5 (90,10 %) hacia el S2 (48,40 %), siguiendo un patrón de mayor a menor calidad en zonas de menor altitud. Las diferencias significativas que se presentaron entre algunos sitios se deben a un gradiente de perturbación, provocado por las actividades agrícolas, extracción de madera y establecimiento de pastizales para la ganadería en diferentes niveles, formas y superficies, lo cual, influye en la estructura y en la calidad de vegetación ribereña. Esto coincide con el reporte de Palma et al. (2009), Carrasco et al. (2016) y Fernández et al. (2016), quienes registraron variación en los niveles de calidad del bosque ribereño generada por las incidencias antrópicas. Asimismo, otros estudios han reportado que infraestructuras como carreteras y asentamientos humanos cercanos al corredor ribereño causan pérdidas de diversidad de especies vegetales (Moreno-Jiménez et al. 2019), disminuyendo el nivel de calidad de los bosques ribereños (Tüzün y Albayrak 2005).

Vegetación ribereña y regeneración natural

Los valores promedios de densidad, DAP y altura de árboles ribereños mostraron diferencias significativas entre algunos sitios, siendo estas una señal de la dinámica de sucesión vegetal (Tabla 2). Por ejemplo, el S1 registró mayor densidad de árboles (67,90), pero menor en DAP (5,68) y altura (4,73), es decir, se encuentra en una etapa de recuperación temprana que el resto de los sitios. Las especies con mayor densidad fueron *Pleuranthodendron lindenii* (Turcz) Sleumer, *Lonchocarpus hondurensis* Benth., *Trichilia havanensis* Jacq., *Hampea nutricia* Frisxell y *Bursera simaruba* (L.). Martínez-Ramos y García-Orth (2007) mencionan que estas especies son indicadores de vegetación secundaria. En contraste, el S2 presentó mayor valor promedio del DAP (11,07 cm) que el resto de los sitios, asociado a la incidencia de la ganadería, donde quedan relictos de árboles grandes que fueron dejados como sombra del ganado en las márgenes del río, tal es el caso de la *Ceiba pentandra*. Los sitios tres, cuatro y cinco registraron valores promedios altos en riqueza y diversidad de especies tanto de árboles como de regeneración, los cuales pueden deberse a las cercanías de los remanentes de vegetación original (Tabla 2). Esto coincide con Araujo Calçada et al. (2013) quienes manifestaron que la cercanía a los remanentes de vegetación original podría favorecer al aumento de especies.

Correlación entre el índice de QBR y atributos de vegetación ribereña

Los valores del índice de QBR mostraron una relación positiva con la riqueza y la diversidad de especies arbóreas (Fig. 2 y Tabla 3), debido a que estos son atributos de vegetación fundamentales para evaluar las condiciones del bosque ribereño. Por lo anterior, se deduce que la riqueza y la diversidad podrían aportar información al índice de

Tabla 3. Correlaciones de Pearson entre los valores del Índice de QBR y los atributos estructurales y la diversidad de la vegetación ribereña y regeneración natural.

Variables	Riq reg	Div reg	Den reg	Diam reg	Alt reg	Riq ar	Div ar	Den ar	DAP ar	Alt ar
Índice QBR	0,21	0,14	0,12	-0,22	-0,24	0,41	0,43	0,10	0,10	0,08
P	0,14	0,34	0,41	0,12	0,10	0,00	0,00	0,51	0,47	0,61

Riq reg = riqueza de regeneración, Div reg = diversidad de regeneración, Den reg = densidad de individuos de regeneración, Diam reg = diámetro de plantas en regeneración a partir de 15 cm desde la base del suelo, Alt reg = altura de plantas en regeneración. ar = solo para árboles con DAP \geq 1cm.

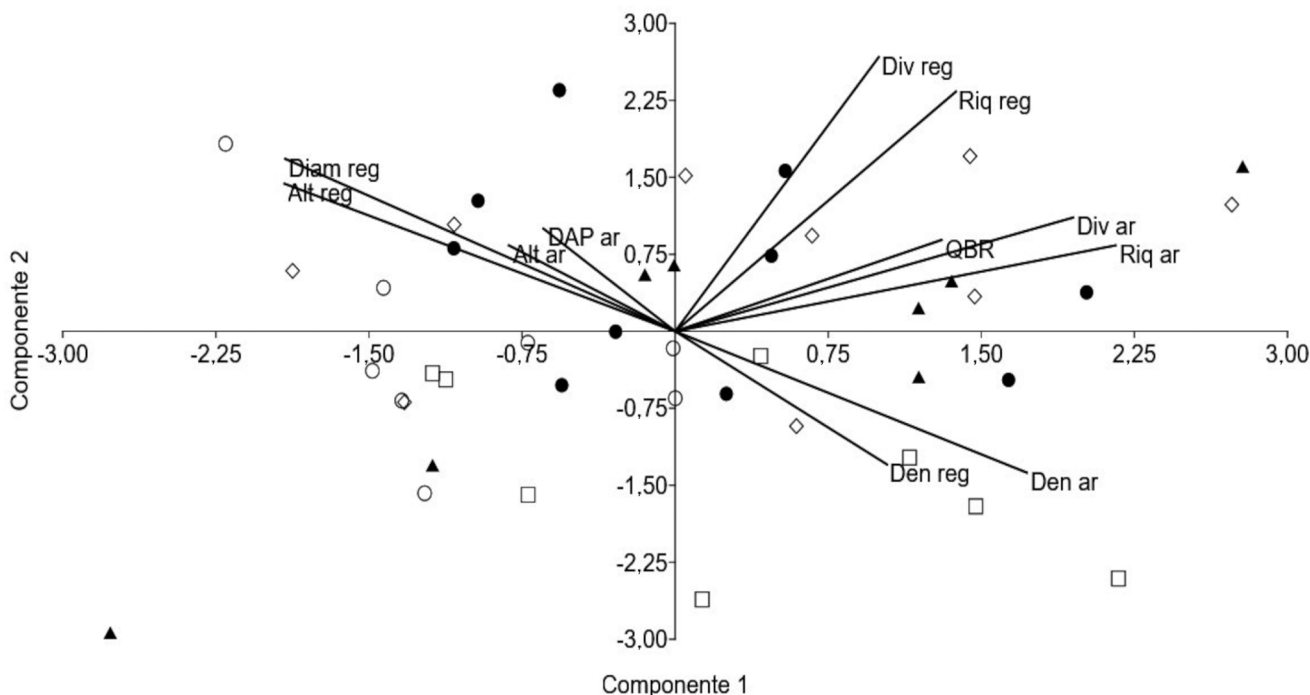


Figura 3. Análisis de componentes principales de las variables de vegetación y el índice de QBR en los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa. □ = transectos de S1, ○ = transectos de S2, ◊ = transectos de S3, ▲ = transectos de S4, ● = transectos de S5. QBR = índice de calidad del bosque ribereño, Riq reg = riqueza de regeneración, Div reg = diversidad de regeneración, Den reg = densidad de individuos de regeneración, Diam reg = diámetro de plantas en regeneración a partir de 15 cm desde la base del suelo, Alt reg = altura de plantas en regeneración. La terminación ar = corresponde a los árboles con DAP ≥ 1 cm.

QBR en zonas tropicales. Esto coincide con Durigan y Suganuma (2015) quienes argumentaron que la diversidad de especies es uno de los parámetros que permite evaluar las condiciones del bosque. Díaz-Pascasio *et al.* (2018), también encontraron una relación positiva entre la calidad de la vegetación ribereña y la riqueza y diversidad de especies en un río tropical. La inclusión de estos atributos se asocia con la complejidad en estructura en los bosques ribereños en zonas tropicales frente a las zonas templadas, albergando el 70 % de especies de plantas en el mundo (Cayuela 2006). Por ello, la riqueza y la diversidad de especies como variables complementarias para el índice de QBR, permite conocer con mayor certeza la condición del bosque ribereño, dando mayor soporte y confiabilidad a los resultados para analizar las condiciones ecológicas de estos ambiente en ríos tropicales (Brancalion y Holl 2015, Durigan y Suganuma 2015). En el caso del sitio S5 que tuvo calidad muy buena, de menor DAP y altura que el S2, se debe a que presentó mayor riqueza de especies, diversidad de orden 1 (Tabla 2) y densidad más equitativa (87 %) que

el S2 (80 %). Esto sustenta el argumento de Magurran y McGill (2011) quienes mencionaron que la diversidad alta en un sitio está relacionada con un valor alto en el índice de equitatividad de las especies.

Con base en los resultados descritos anteriormente se concluye que el índice de QBR demostró que el bosque ribereño está sometido a diferentes presiones de perturbación. Algunos atributos ecológicos de vegetación junto con el índice QBR permiten evaluar el estado de conservación de los bosques ribereños en ríos tropicales. La riqueza y la diversidad de especies podrían dar mayor confiabilidad a los puntajes del índice QBR. Por lo anterior, las correlaciones positivas evidenciaron estas asociaciones. Asimismo, estas interacciones se mostraron en algunos atributos de la vegetación que está en proceso de regeneración natural y de los árboles con DAP ≥ 1 cm (Fig. 3). Por lo tanto, se recomienda que este índice sea utilizado como una herramienta de fácil aplicación en los bosques ribereños, ya que junto con la riqueza y diversidad proporcionan una aproxi-

mación al conocimiento del estado de conservación de los bosques ribereños y con ello generar acciones de conservación en sitios de mayor calidad y restauración en sitios de menor calidad para recuperar la estructura y diversidad de especies vegetales a lo largo del corredor ribereño.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

VMJ diseño, toma y análisis de datos y escritura del documento. LGC concepción de ideas principales del estudio y escritura. WMCS análisis de datos y escritura. SOG, EEMZ, NCJP escritura del documento. AAAL muestreo en campo y escritura del documento. Todos los autores aprobaron el manuscrito final.

AGRADECIMIENTOS

Al apoyo emitido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en forma de beca otorgada al primer autor de este artículo bajo el número 436036. A la Estación Biológica La Florida, Tacotalpa, Tabasco por el hospedaje en sus instalaciones durante el muestreo. A Miguel, José, Eleuterio, Héctor y a los propietarios colindantes del río Tacotalpa que facilitaron el acceso a los sitios de muestreo.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

- Acosta R, Ríos B, Rieradevall M, Prat N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica* 28(1):35-64.
- Araujo Calçada E, Closset-Kopp D, Gallet-Moron E, Lenoir J, Rêve M, Hermy M, Decocq G. 2013. Streams are efficient corridors for plants species in forest metacommunities. *J. App. Ecol.* 50(5):1152-1160. doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12132>
- Brancaion PHS, Holl KD. 2015. Functional composition trajectory: a resolution to the debate between Suganuma, Durigan and Reid. *Restor. Ecol.* 24(1):1-3. doi: <https://doi.org/10.1111/rec.12312>
- Burton ML, Samuelson LJ, Pan S. 2005. Riparian Woody plant diversity and forest structure along an urban-rural gradient. *Urban Ecosyst.* 8:93-106. doi: <https://doi.org/10.1007/s11252-005-1421-6>
- Camacho-Rico F, Trejo I, Bonfil C. 2006. Estructura y composición de la vegetación ribereña de la Barranca del Río Tembembe, Morelos, México. *Bol. Soc. Bot. Méx.* (78):17-31. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1718>
- Camporeale C, Ridolfi L. 2006. Riparian vegetation distribution induced by river flow variability: A stochastic approach. *Water Resour. Res.* 42(10):1-13. doi: <https://doi.org/10.1029/2006WR004933>
- Carrasco S, Hauenstein E, Peña-Cortés F, Beltrán C, Tapia J, Vargas-Chacoff L. 2014. Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial. *Gayana Bot.* 71(1):1-9. doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432014000100002>
- Castañeda MB, Cabrera AF, Navarro Y, De Vries W. 2010. Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS: un libro práctico para investigadores y administradores educativos. Porto Alegre: EDICPUCRS. [Revisada en: 10 May 2019]. <http://190.57.147.202:90/xmlui/bitstream/handle/123456789/498/PROCESAMIENTO%20DE%20DATOS%20Y%20AN%c3%81LISIS%20ESTADISTICOS%20UTILIZANDO%20SPSS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cayuela L. 2006. Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas* 15(3):192-198.
- Díaz-Pascasio E, Ortega-Argueta A, Castillo-Uzcanga MM, Ramírez-Marcial N. 2018. Influence of land use on the riparian zone condition along an urban-rural gradient on the Sabinal River, Mexico. *Bot. Sci.* 96(2):180-199. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1858>
- [DOF] Diario Oficial de la Federación. 2020. Ley de Aguas Nacionales. [Revisada en: 15 Ene 2020]. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf
- Dosskey MG, Vidon P, Gurwick NP, Allan CJ, Duval TP, Lowrance R. 2010. The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 46(2):261-277. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2010.00419.x>
- Durigan G, Sukanuma MS. 2015. Why species composition is not a good indicator to assess restoration success? Counter-response to Reid. *Restor. Ecol.* 23(5):521-523. doi: <https://doi.org/10.1111/rec.12272>
- Espinoza-Jiménez JA, López-Cruz A, Pérez-Farrera MA, López S. 2014. Inventario florístico de la Cañada La Chacóna-Juan Crispín y zonas adyacentes, depresión central de Chiapas, México. *Bot. Sci.* 92(2):205-241. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.30>
- Fernández L, Rau J, Arriaga A. 2009. Calidad de la vegetación ribereña del río Maullín (41°28' S; 72°59' W) utilizando el QBR. *Guayana Bot.* 66(2):269-278. doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432009000200011>

- Fernández RD, Ceballos SJ, González Achem AL, Del Valle Hidalgo M, Fernández HR. 2016. Quality and conservation of riparian forest in a mountain subtropical basin of Argentina. *Int. J. Ecol.* 2016:1-10. doi: <https://doi.org/10.1155/2016/4842165>
- Gómez-Domínguez H, Pérez-Farrera MA, Espinoza-Jiménez JA, Marquez-Reynoso MI. 2015. Listado florístico del Parque Nacional Palenque, Chiapas, México. *Bot. Sci.* 93(3):559-578. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.151>
- González del Tánago M, García de Jalón D, Lara F, Garilleti R. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la Directiva Marco del Agua. *Ing. Civ.* 143:97-108.
- González del Tánago M, García de Jalón D. 2011. Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica* 30(2):235-254.
- Granados-Sánchez D, Hernández-García MÁ, López-Ríos GF. 2006. Ecología de las zonas riberas. *Ser. Cien. Forest. Amb.* 12(1):55-69.
- Gutiérrez BC. 2004. Listado florístico del norte de Chiapas: Catazajá y límites con Palenque. *Polibotánica* 17:107-124.
- Hammer O. 2012. Paleontological statistics. Reference manual. University of Oslo. [Revisada en: 30 Nov 2018]. http://priede.bf.lu.lv/ftp/pub/TIS/datu_analizi/PAST/2.17c/past_part1.pdf
- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2000. Cuaderno estadístico municipal de Tacotalpa, Tabasco, México. [Revisada en: 10 Ene 2020]. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825931667/702825931667_1.pdf
- Jost L, González-Oreja JA. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zool. Lilloana* 56(1-2):3-14.
- Jost L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113(2):363-375. doi: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Kutschker A, Brand C, Miserendino ML. 2009. Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecol. Austral* 19:19-34.
- Lira-Noriega A, Guevara S, Laborde J, Sánchez-Ríos G. 2007. Composición florística en potreros de los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta Bot. Mex.* 80:59-87. doi: <https://doi.org/10.21829/abm80.2007.1047>
- Magdaleno F, Martínez R. 2014. Evaluating the quality of riparian forest vegetation: the Riparian Forest Evaluation (RFV) index. *For. Syst.* 23(2):259-272. doi: <https://doi.org/10.5424/fs/2014232-04488>
- Magurran AE, McGill BJ. 2011. Biological diversity: Frontiers in measurement and assessment. Oxford: Oxford University Press.
- Maldonado-Sánchez EA, Maldonado-Mares F. 2010. Estructura y diversidad arbórea de una selva alta perennifolia en Tacotalpa, Tabasco, México. *Univ. Cienc.* 26(3):235-245.
- Martínez-Ramos M, García-Orth X. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Bol. Bot. Sci.* 80 (Suppl):69-84. doi: <https://doi.org/10.17129/botsci.1758>
- Moreno CE, Barragán F, Pineda E, Pavón NP. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Rev. Mex. Biodiv.* 82(4):1249-1261. doi: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.4.745>
- Moreno-Jiménez V, Castillo-Acosta O, Gama-Campillo L, Zavala-Cruz J, Ortiz-Pérez MA. 2017. Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tacotalpa, Tabasco, México. *Maderas y Bosques* 23(1):91-109. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.231510>
- Moreno-Jiménez V, Gama-Campillo LM, Romero-García A, Ochoa-Gaona S, Contreras-Sánchez WM, Jiménez-Pérez NC, Mata-Zayas EE. 2019. Características del paisaje y su relación con la diversidad y estructura de la vegetación ribereña del sureste de México. *Acta Bot. Mex.* 126: e1487. doi: <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1487>
- Munné A, Prat N, Solá C, Bonada N, Rieradevall M. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquat. Conserv.* 13(2):147-163. doi: <https://doi.org/10.1002/aqc.529>
- Munné A, Sola C, Prat N. 1998. QBR: un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua* (175): 20-39.
- Naiman RJ, Décamps H. 1997. The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annu. Rev. Ecol. System.* 28:621-658. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- Ortiz-Pérez MA, Slebe C, Cram S. 2005. Diferenciación eco-geográfica de Tabasco. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S, editores. Biodiversidad del Estado de Tabasco. México, D.F., México: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. p. 305-322.
- Palma A, Figueroa R, Ruíz VH. 2009. Evaluación y hábitat fluvial a través de los índices QBR e IHF index. *Gayana Concepc.* 73(1):57-63. doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-65382009000100009>
- Pennington DN, Hansel JR, Gorchow DL. 2010. Urbanization and riparian forest woody communities: diversity, composition and structure within a metropolitan landscape. *Biol. Conserv.* 143(1):182-194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.10.002>
- Pennington TD, Sarukhán J. 2005. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. México D.F: Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Pérez LA, Sousa SM, Hanan AM, Chiang F, Tenorio P. 2005. Vegetación Terrestre. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S, editores. Biodiversidad del Estado de Tabasco. México D.F: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. p. 65-110.

- Pérez PL. 2018. ¿Cómo proceder ante incumplimiento de las premisas de métodos biológicos paramétricos? O ¿cómo trabajar con variables biológicas no normales? *Rev. Jard. Bot. Nac.* 39:1-12.
- Posada-Posada MI, Arroyave-Maya MP. 2015. Análisis de la calidad del retiro ribereño para el diseño de estrategias de restauración ecológica en el río La Miel, Caldas, Colombia. *Rev. EIA Esc. Ing. Antioq.* 12(23):117-128. [Revisada en: 10 ene 2019]. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n23/n23a11.pdf>
- Rodríguez-Téllez E, Domínguez-Calleros PA, Pompa-García M, Quiroz-Arratia JA, Pérez-López ME. 2012. Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *Gayana Bot.* 69(1):147-151. doi: <https://doi.org/10.4067/S0717-66432012000100014>
- Rosales J, Petts G, Knab-Vispo C. 2001. Ecological gradients within the riparian forests of the lower Caura River, Venezuela. *Plant. Ecol.* 152:101-118. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1011411020040>
- Sánchez-Pérez B, Castillo-Acosta O, Cámara-Cabrales LC. 2011. Regeneración natural de la selva alta perennifolia en el Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco, México. *Polibotánica.* 32:63-88.
- Scott ML, Nagler PL, Glenn EP, Valdes-Casillas C, Erker JA, Reynolds EW, Shafroth PB, Gómez-Limon E, Jones CL. 2009. Assessing the extent and diversity of riparian ecosystems in Sonora, México. *Biodivers. Conserv.* 18: 247-269. doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9473-6>
- Suárez ML, Vidal-Abarca MR, Sánchez-Montoya MM, Alba-Tercedor J, Álvarez M, Avilés J, Bonada N, Casas J, Jáimez-Cuéllar P, Munné A, Pardo I, Prat N, Rieradevall M, Salinas MJ, Toro M, Vivas S. 2002. Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR. *Limnetica* 21(3-4):135-148.
- Sunil C, Somashekar RK, Nagaraja BC. 2010. Riparian vegetation assessment of Cauvery river basin of South India. *Environ. Monit Assess.* 170(1-4):545-553. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1256-3>
- Tanaka MO, Souza ALT, Moschini LE, Kannebley OA. 2016. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 216(15):333-339. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.016>
- [TPL] The Plant List. 2013. A working list of all plants species web site [Revisada en: 15 Jun 2019]. <http://www.theplantlist.org/>
- Tüzün I, Albayrak I. 2005. The effect of disturbances to habitat quality on otter (*Lutra lutra*) activity in the river Kizilirmak (Turkey): a case study. *J. Zool.* 29:327-335.
- Wissmar RC, Beschta RL. 1998. Restoration and management of riparian ecosystems: a catchment perspective. *Freshw. Biol.* 40(3):571-585. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1998.00383.x>
- Yang J, Dilts TE, Condon LA, Turner PL, Weisberg P. 2011. Longitudinal and transverse scale environmental influences on riparian vegetation across multiple levels of ecological organization. *Landsc. Ecol.* 26:381-395. doi: <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9565-z>
- Zavala-Cruz J, Palma-López DJ, Fernández CCR, López, CA, Shirma TE. 2011. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. Villahermosa, Tabasco, México.
- Zotlina LV, Berkovich KM. 2012. On the influence of riparian vegetation on channel processes. *Geogr. Nat. Resour.* 33(1): 26-32. doi: <https://doi.org/10.1134/S1875372812010040>