



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**

**División Académica de Ciencias Biológicas**



**“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA VEGETACIÓN RIBEREÑA PARA EL  
DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN EN EL RÍO TACOTALPA,  
TABASCO, MÉXICO”**

**Trabajo recepcional, en la modalidad de:**

Tesis

**Que para obtener el grado de:**

Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales

**Presenta:**

Victorio Moreno Jiménez

**Directores:**

Dra. Lilia María Gama Campillo

Dra. Ena Edith Mata Zayas



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

Villahermosa, Tab., a 02 de Agosto de 2021

**ASUNTO:** Autorización de Modalidad de Titulación

**C. LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON**  
**JEFE DEL DEPTO. DE CERTIFICACIÓN Y TITULACION**  
**DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**P R E S E N T E**

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado, informo a usted, que en base al reglamento de titulación vigente en esta Universidad, ésta Dirección a mi cargo, autoriza al **C. VICTORIO MORENO JIMÉNEZ** egresado del Doctorado en **CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES** de la División Académica de **CIENCIAS BIOLÓGICAS** la opción de titularse bajo la modalidad de Tesis de Doctorado denominado: **"EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA VEGETACIÓN RIBEREÑA PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN EN EL RÍO TACOTALPA, TABASCO, MÉXICO"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para saludarle afectuosamente.

A T E N T A M E N T E

DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR DE LA DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente Alumno de la División Académica  
C.c.p.- Interesado



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA  
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, 337-9611, 337-9706, Fax (993) 354-4308 y 358-1579

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN

Agosto 02 DE 2021

**C. VICTORIO MORENO JIMÉNEZ**  
**PAS. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA Y**  
**MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES**  
**P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Doctorado en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales titulado: **"EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA VEGETACIÓN RIBEREÑA PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN EN EL RÍO TACOTALPA, TABASCO, MÉXICO"**, asesorado por la Dra. Lilia María Gama Campillo y Dra. Ena Edith Mata Zayas, cuyo jurado está integrado por El Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez, Dra. Susana Ochoa Gaona, Dra. Lilia María Gama Campillo, Dra. Ena Edith Mata Zayas, Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez, Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro y Dr. Rodimiro Ramos Reyes

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

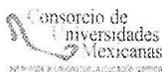
  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA**  
**DIRECTOR**

U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



DIRECCIÓN

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
C.c.p.- Archivo



KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA  
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400 y 6401, 337-9611, 337-9706, Fax (993) 354-4308 y 358-1579

Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

www.ujat.mx

## CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de doctorado denominado: **“EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA VEGETACIÓN RIBEREÑA PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN EN EL RÍO TACOTALPA, TABASCO, MÉXICO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 02 días del mes de agosto de dos mil veintiuno.

AUTORIZO



---

VICTORIO MORENO JIMÉNEZ



UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



División  
Académica  
de Ciencias  
Biológicas

Jefatura de Posgrado



Villahermosa, Tabasco a 11 de agosto de 2021.

**M. EN C. VICTORIO MORENO JIMÉNEZ**

EST. DEL DOCTORADO EN CIENCIAS EN ECOLOGÍA

Y MANEJO DE SISTEMAS TROPICALES

PRESENTE

En cumplimiento de los lineamientos de la Universidad, y por instrucciones de la Dirección de Posgrado, se implementó la revisión de los documentos recepcionales (tesis), a través de la plataforma Turnitin iThenticate para evitar el plagio e incrementar la calidad en los procesos académicos y de investigación en esta División Académica. Esta revisión se realizó en correspondencia con el Código de Ética de la Universidad, el Reglamento General de Estudios de Posgrado, el Código Institucional de Ética para la Investigación y con los requerimientos para los posgrados en el PNPC-CONACyT.

Por este conducto, hago de su conocimiento las observaciones y el reporte de originalidad de su documento de tesis. Con el objetivo de fortalecer y enriquecer el programa de posgrado, la Coordinadora Académica del DEMST, realizó la revisión del documento en la plataforma iThenticate, obteniendo el reporte de originalidad, el índice de similitud y emitió las siguientes sugerencias y recomendaciones para dar seguimiento en el documento de tesis del proyecto de investigación: ***"Evaluación de calidad de la vegetación ribereña para el diseño de estrategias de restauración en el río Tacotalpa, Tabasco, México"***.

OBSERVACIONES:

1. Existe un índice de similitud del 15% de coincidencias. El cual es bajo. Estas coincidencias, refieren a fuentes primarias de uso de bibliotecas y revistas virtuales. Por tanto, se justifica el índice de similitud. Sin duda, se confirma la originalidad de la investigación.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**División  
Académica  
de Ciencias  
Biológicas**

**Jefatura de Posgrado**



2. Se adjunta el reporte de revisión de la tesis a través de la herramienta Turnitin iThenticate.
3. Finalmente, se le solicita al M. en C. Moreno Jiménez, integrar en la versión final de tesis, este oficio e informe de originalidad, realizado por el Turnitin iThenticate.

Sin otro particular al cual referirme, aprovecho la oportunidad para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"

  
DR. ALLAN KEITH CRUZ RAMÍREZ  
JEFATURA DE POSGRADO

**UJAT**



**DIVISION ACADEMICA  
CIENCIAS BIOLOGICAS  
JEFATURA DE POSGRADO**

C.C.P. Dra. Lilia María Gama Campillo. Directora de tesis  
Dra. Ena Edith Mata Zayas. Co-directora de tesis  
**C.C.P. ARCHIVO**

## **Dedicatoria**

A mis padres (Manuel Moreno López y Jerónima Jiménez Gómez), que a pesar de sus desconocimientos sobre la lectura y aprendizaje, fueron siempre mi motivación para finalizar cada proyecto de mi vida profesional y mi motor para seguir luchando y culminar este proyecto.

A mis hermanas (os) por sus apoyos y consejos motivacionales durante el desarrollo de este proyecto de investigación.

A mí esposa Abisag A. Ávalos Lázaro por su apoyo en muestreo en campo, por ser parte de mi fortaleza para culminar este proyecto y seguir cumpliendo metas y objetivos compartidos.

A mi directora de tesis (Dra. Lilia M. Gama Campillo) por su apoyo incondicional y por aportar siempre su conocimiento para la mejora, desarrollo y culminación de esta tesis.

## **Agradecimientos**

A mis asesores (Dra. Lilia M. Gama Campillo y Dra. Ena. E. Mata Zayas) por todo el apoyo, conocimiento y paciencia que brindaron durante el desarrollo de este proyecto.

Al apoyo recibido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en forma de beca otorgado bajo el número 436036.

A mis comités revisores (Dr. Wilfrido M. Contreras Sánchez, Dra. Susana Ochoa Gaona, Nelly del C. Jiménez Pérez, Dr. Miguel Alberto Magaña Alejandro y Dr. Rodimiro Ramos Reyes), que agregaron todo su conocimiento para el desarrollo y culminación de este proyecto de investigación.

A la SERNAPAM (Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental) por permitirnos hospedarnos durante el muestreo en campo en la Estación Biológica La Florida, Tacotalpa, Tabasco.

A Alejandro García Romero y Abisag A. Ávalos Lázaro por su apoyo incondicional en todo el muestreo de vegetación ribereña.

A los Sres. Miguel, José, Eleuterio, Héctor que apoyaron durante las salidas de campo y a todos los propietarios colindantes del río Tacotalpa que facilitaron el acceso a los sitios de muestreo.

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. Protocolo de investigación: Evaluación de calidad de la vegetación ribereña para el diseño de estrategias de restauración en el río Tacotalpa, Tabasco, México.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
2.1. Vegetación riparia o ribereña.....	3
2.2. Importancia de la vegetación ribereña.....	3
2.3. Métodos de medición de la calidad del bosque ribereño.....	4
2.3.1. Usos del índice de calidad del bosque ribereño.....	4
2.4. Restauración ecológica.....	4
2.4.1. Importancia de la restauración ecológica.....	5
2.4.2. Principios básicos de la restauración ecológica.....	5
2.4.3. Propuestas de la restauración ecológica.....	6
<b>3. Justificación.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Preguntas de investigación.....</b>	<b>8</b>
<b>5. Objetivos.....</b>	<b>9</b>
5.1. Objetivo general.....	9
5.2. Objetivos específicos.....	9
<b>6. Hipótesis.....</b>	<b>10</b>
<b>7. Materiales y métodos.....</b>	<b>11</b>
7.1. Descripción del área de estudio.....	11
7.2. Establecimiento de los sitios de estudio y transectos.....	12
7.3. Método de muestreo de vegetación ribereña y regeneración natural.....	12
7.4. Determinación del índice de Calidad del Bosque Ribereño (QBR).....	13
7.5. Análisis de atributos ecológicos de la vegetación ribereña.....	14
7.5.1. Diversidad verdadera.....	14
7.5.2. Curvas de acumulación de especies y similitud florística.....	15
7.5.3. Estructura vertical y horizontal de la vegetación ribereña.....	15
7.6. Métricas del paisaje.....	15
7.7. Análisis estadísticos.....	16

7.8. Diseño de estrategias de restauración.....	16
<b>8. Literatura citada.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO II. Artículo científico 1: Características del paisaje y su relación con la diversidad y estructura de la vegetación ribereña del sureste de México.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO III. Artículo científico 2: Evaluación de un bosque ribereño mediante la aplicación del índice de calidad del bosque (QBR) para su adaptación en zonas tropicales de México.....</b>	<b>45</b>
<b>CAPITULO IV. Propuestas de estrategias de restauración ecológica en un bosque ribereño del sureste de México.....</b>	<b>72</b>
<b>Conclusiones generales.....</b>	<b>82</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I. Protocolo de investigación: Evaluación de calidad de la vegetación ribereña para el diseño de estrategias de restauración en el río Tacotalpa, Tabasco, México.....</b>	<b>1</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de los cinco sitios de estudio en el río Tacotalpa, Tabasco....	12
<b>Figura 2.</b> Ejemplo del diseño de muestreo de la vegetación ribereña y regeneración natural en cada transecto de 100 x 10 m establecidos en las márgenes del río Tacotalpa.....	13
<b>Figura 3.</b> Método de nucleación de Corbin y Holl (2012), como base teórica para generar las propuestas de restauración en el río Tacotalpa, Tabasco.....	17
<b>CAPÍTULO II. Artículo científico 1: Características del paisaje y su relación con la diversidad y estructura de la vegetación ribereña del sureste de México.....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 1:</b> Ubicación geográfica de la zona de estudio y de los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México.....	27
<b>Figura 2:</b> Frecuencia de especies por familia botánica registrada en los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México.....	29
<b>Figura 3:</b> Curvas de acumulación de especies en los cinco sitios muestreados en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. Las líneas punteadas representan el modelo ajustado a la ecuación de Clench para cada sitio.....	30
<b>Figura 4:</b> Dendograma de similitud florística de los cinco sitios de muestreo con base en el método de Bray-Curtis.....	30
<b>Figura 5:</b> Diagrama de la estructura vertical basado en la frecuencia de individuos de especies leñosas en los diferentes estratos de altura obtenidos para los sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. Los números sobre las barras representan el número de individuos por sitio.....	31

<b>Figura 6:</b> Diagrama de la estructura horizontal basado en la frecuencia de individuos de especies leñosas en las diferentes clases diamétricas obtenidas para los sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. Los números sobre las barras representan el número de individuos por sitio.....	31
<b>Figura 7:</b> A. Valores promedio de diversidad del orden $^0D$ ; B. densidad; C. diámetro a la altura del pecho; D. altura de individuos, en los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).....	33
<b>Figura 8:</b> Análisis de componentes principales de las variables de vegetación y métricas del paisaje en los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. ■=unidades muestrales del sitio 1, * =unidades muestrales del sitio 2, ®=unidades muestrales del sitio 3, Δ=unidades muestrales del sitio 4, ●=unidades muestrales del sitio 5.....	34
<b>CAPÍTULO III. Artículo científico 2: Evaluación de un bosque ribereño mediante la aplicación del índice de calidad del bosque (QBR) para su adaptación en zonas tropicales de México.....</b>	45
<b>Figura 1:</b> Ubicación geográfica de los cinco sitios para la aplicación del QBR en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.....	66
<b>Figura 2.</b> Comparación de medias del índice QBR en cinco sitios en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. Letras desiguales indican diferencias estadísticas significativas probadas con el nivel de significancia 0.01.....	67
<b>Figura 3.</b> 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 y ● = transectos de s5.....	68
<b>CAPITULO IV. Propuestas de estrategias de restauración ecológica en un bosque ribereño del sureste de México.....</b>	72
<b>Figura 1.</b> Propuesta de restauración de sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. S = especies de sucesión temprana: <i>Bursera simaruba</i> (Bs), <i>Guazuma ulmifolia</i> (Gu), <i>Spondias mombin</i> (Sm), <i>Pleuranthodendron lindenii</i> (Pl), <i>Trichila havanensis</i> (Th), I = especies de sucesión intermedia: <i>Brosimum alicastrum</i> (Ba) y <i>Vatairea lundellii</i> (Vl).....	74
<b>Figura 2.</b> Propuesta de restauración de sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. S = especies de sucesión temprana: <i>B. simaruba</i> (Bs), <i>G. ulmifolia</i> (Gu), <i>S. mombin</i> (Sm), <i>P. lindenii</i> (Pl), <i>T. havanensis</i> (Th), I = especies de sucesión intermedia: <i>B. alicastrum</i> (Ba), <i>V. lundellii</i> (Vl), <i>C. alliodora</i> (Ca) y <i>P. americana</i> (Pa).....	75
<b>Figura 3.</b> Propuesta de restauración de sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. S = especies de sucesión temprana: <i>B. simaruba</i> (Bs), <i>G. ulmifolia</i> (Gu), <i>S. mombin</i> (Sm), <i>P. lindenii</i> (Pl), <i>T. havanensis</i> (Th), I = especies de sucesión intermedia: <i>B. alicastrum</i> (Ba) y <i>L. platypus</i> (Lp).....	75
<b>Figura 4.</b> Estrategia de restauración en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. E = especies de reproducción por estacas: <i>Gliricidia sepium</i> (Gs), <i>Salix humboldtiana</i> (Sh), I = especies de sucesión intermedia: <i>V. lundellii</i> (Vl) y <i>P. americana</i> (Ps).....	76

<b>Figura 5.</b> Estrategia restauración en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. A = especies arbustivas: <i>Myrcia splendens</i> (Ms), <i>Muntingia calabura</i> (Mc), I = especies de sucesión intermedia: <i>B. alicastrum</i> (Ba) y <i>C. alliodora</i> (Ca).....	76
<b>Figura 6.</b> Estrategia de restauración en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. S = especies de sucesión temprana: <i>B. simaruba</i> (Bs), <i>G. ulmifolia</i> (Gu), <i>S. mombin</i> (Sm). I = especies de sucesión intermedia: <i>B. alicastrum</i> (Ba), <i>C. alliodora</i> (Ca) y <i>P. americana</i> (Pa).....	77
<b>Figura 7.</b> Propuesta de restauración de sitios con remanentes de vegetación en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. I = especies de sucesión intermedia: <i>B. alicastrum</i> (Ba), <i>V. lundelli</i> (VI), <i>Cordia alliodora</i> (Ca), <i>P. americana</i> (Pa) y <i>Licania platypus</i> (Lp).....	77
<b>Figura 8.</b> Establecimiento de especies en sitios con menor alteración en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. I = especies de sucesión tolerantes a la sombra intermedia: <i>B. alicastrum</i> (Ba), <i>V. lundelli</i> (VI), <i>Cordia alliodora</i> (Ca), <i>P. americana</i> (Pa) y <i>Licania platypus</i> (Lp).....	78
<b>Figura 9.</b> Estrategia de restauración pasiva de los sitios con menor perturbación en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.....	78
<b>Figura 10.</b> Estrategia de restauración pasiva de los sitios menos perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.....	79
<b>Figura 11.</b> Estrategia de restauración pasiva de los sitios con presencia de ganado bovino en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.....	79
<b>Figura 12.</b> Estrategia de restauración pasiva de los sitios perturbados con presencia de algunas especies con capacidad de retoños en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.....	80
<b>Figura 13.</b> Estrategia de restauración pasiva de los sitios con pastizales en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.....	80

## LISTA DE TABLAS

<b>CAPÍTULO I. Protocolo de investigación: Evaluación de calidad de la vegetación ribereña para el diseño de estrategias de restauración en el río Tacotalpa, Tabasco, México.....</b>	<b>1</b>
<b>Tabla 1.</b> Rangos de puntuación de la calidad del bosque ribereño adaptado de Munné <i>et al.</i> (2003) y Posada y Arroyave (2015).....	14
<b>CAPÍTULO II. Artículo científico 1: Características del paisaje y su relación con la diversidad y estructura de la vegetación ribereña del sureste de México.....</b>	<b>25</b>
<b>Cuadro 1.</b> Datos de los cinco sitios de muestreo del río Tacotalpa, Tabasco, México. s1=Tapijulapa, s2=Arroyo Chispa, s3=Nuevo Madero, s4=Mexiquito y s5=Oxolotán.....	27

<b>Cuadro 2.</b> Composición, diversidad y equitatividad de la vegetación ribereña en cinco sitios del río Tacotalpa, Tabasco, México. <sup>1</sup> D=Diversidad verdadera de orden 1; s1=Tapijulapa, s2=Arroyo Chispa, s3=Nuevo Madero, s4=Mexiquito y s5=Oxolotán; <sup>a</sup> =no existen diferencias estadísticas entre los cinco sitios.....	29
<b>Cuadro 3.</b> Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables de vegetación ribereña con las métricas del paisaje del río Tacotalpa, Tabasco, México. Dcas=Distancia de la casa más cercana, Dzür=Distancia del borde de la zona urbana más cercana, Dcul=Distancia del borde de cultivo más cercano, Dpas=Distancia del borde de pastizal más cercano, Dbos=Distancia del borde del remanente del bosque maduro más cercano, Dcarr=Distancia de la carretera pavimentada más cercana y Dterr=Distancia de la terracería más cercana. * es significativa en el nivel 0.05; ** es significativa en el nivel 0.01 .....	33
Apéndice.....	41
<b>CAPÍTULO III. Artículo científico 2: Evaluación de un bosque ribereño mediante la aplicación del índice de calidad del bosque (QBR) para su adaptación en zonas tropicales de México.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 1.</b> Rangos de puntuación de la condición del bosque ribereño del río Tacotalpa, Tabasco, México.....	64
<b>Tabla 2.</b> 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.....	65
<b>Tabla 3.</b> Correlación de Pearson entre los valores del Índice de QBR y los atributos estructurales y diversidad de vegetación ribereña y regeneración natural.....	65
Apéndice.....	69
<b>CAPITULO IV. Propuestas de estrategias de restauración ecológica en un bosque ribereño del sureste de México.....</b>	<b>72</b>
<b>Tabla 1.</b> Especies consideradas para proponer las estrategias de restauración en un bosque ribereño del sureste de México.....	74

# CAPITULO I: PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN

## EVALUACIÓN DE CALIDAD DE LA VEGETACIÓN RIBEREÑA PARA EL DISEÑO DE ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN EN EL RÍO TACOTALPA, TABASCO, MÉXICO.

### 1. Introducción

La vegetación ribereña ha sido fuertemente alterada por el cambio del uso de suelo a nivel mundial (Tanaka *et al.*, 2016). Estas alteraciones han favorecido la fragmentación de estos ecosistemas, generando pérdida de biodiversidad, de estructura, de conectividad, de cobertura vegetal y la degradación del suelo; afectando a los servicios ecosistémicos de las áreas ribereñas (Fernández *et al.*, 2009). En muchas regiones tropicales y subtropicales del mundo los bosques son transformados en áreas ganaderas (Vásquez *et al.*, 2015). De acuerdo a Barba-Macías (2006), en Tabasco, la vegetación ribereña representa el 1.37 % de la superficie total de humedales (27.76 %); de ellos, el 0.74 % se encuentra en la Sierra de Tabasqueña. En la sierra de Tabasco, el ecosistema ribereño se encuentra muy fragmentado, debido a las diferentes actividades humanas, donde solo en las partes altas, con pendientes pronunciadas existe cobertura original; mientras que las áreas bajas se encuentran principalmente cubiertas por pastizales, cultivos y vegetación secundaria (Zavala-Cruz *et al.*, 2011).

La pérdida de vegetación original en las riberas provoca consecuencias ambientales, tales como la arrastre de sedimentos y contaminantes provenientes de la actividad agrícola en los ambientes acuáticos (Feijó, *et al.*, 2012), generando disminución en la diversidad de hábitats y en los organismos que los habitan. Por lo tanto, es necesario que se proponen estrategias de restauración ecológica para su recuperación en zonas con mayor alteración. El primer paso para generar estrategias de recuperación de un ecosistema consiste en evaluar la situación actual del ecosistema (Posada y Arroyave, 2015). Un método usado para este análisis es el Índice de Calidad del Bosque de Ribera; QBR por las siglas en catalán *Qualitat del Bosc de Ribera* (Munné *et al.*, 2003). Según Munné *et al.* (2003) el QBR fue desarrollado para evaluar la calidad de ecosistemas ribereños en ríos tomando en cuenta cuatro aspectos principales: el grado, la estructura, la calidad de cobertura vegetal natural y el grado de alteración del canal fluvial (Anexo 1). El primero (grado de cobertura de vegetal natural), consiste en la calidad del ecosistema ribereño que disminuye conforme se pierde la vegetación nativa y la conectividad

con los ecosistemas adyacentes. El segundo evalúa la estructura de la cobertura vegetal, mediante el análisis de similitud entre la cobertura vegetal existente en la zona de ribera. El tercero evalúa la calidad de la cobertura vegetal, específicamente a su naturalidad y complejidad. La naturalidad está relacionada con las especies de árboles nativos que se encuentra en una situación sin alteración de ribera, y la complejidad incluye diferentes elementos como la continuidad a lo largo del río de las comunidades vegetales naturales, la disposición en galería de las diferentes comunidades o la existencia de distintas especies arbóreas y arbustivas (Munné *et al.*, 2003). El último atributo, califica el nivel de alteración del cauce fluvial, teniendo en cuenta tanto el lecho de la corriente, como también, las alteraciones en las riberas (Posada y Arroyave, 2015). González y García, (2011) manifiesta que el QBR se puede ajustar según las condiciones de un sitio determinado.

La vegetación ribereña se identifica por presentar árboles distribuidos de forma lineal en los ríos y arroyos (Sunil *et al.*, 2010), formando un ecotono entre el área acuático y el terrestre (Santos, 2010). Estas características del área ribereña proporcionan una alta diversidad de especies de plantas y animales, así como numerosos procesos biológicos y físicos (Meli, 2014). Las múltiples funciones que ofrecen los ecosistemas ribereños hacen que sea trascendental considerar la definición de la Ley de Aguas Nacionales (Diario Oficial de la federación, 2016) con el artículo 3 de la Fracción XLVII, donde son consideradas “*ribera o zona federal*” *las fajas de 10 m de anchura al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medida horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas extraordinarias. La amplitud de la ribera o zona federal será de cinco metros en los cauces con una anchura no mayor de cinco metros. En los ríos, estas fajas se delimitarán a partir de 100 metros río arriba, contados desde la desembocadura de éstos en el mar.* No obstante, para mantener su funcionalidad, altos niveles de biodiversidad y que cumpla el papel del corredor biológico debe tener una anchura mínima de 30 metros para asegurar la conservación de vegetación ribereña (Posada y Arroyave, 2015).

## 2. Antecedentes

### 2.1. Vegetación riparia o ribereña

Naiman y Décamps (1997), mencionaron que el término *riparius* es de latín que expresa “de o corresponde a la orilla o ribera de un río”. La expresión “ribereña”, (en inglés *riparian*) sustituye el latino y hace referencia a las comunidades bióticas que se distribuyen en las orillas de los ríos y lagos. Por lo tanto, *ribereño* (a) se ha usado como calificativo y *ripario* (a) como un nombre singular o plural, para referir a los ensamblajes bióticos de las zonas de transición suelo-agua, asociados con los ecosistemas acuáticos (Naiman *et al.*, 2005; Guevara *et al.*, 2008).

### 2.2. Importancia de la vegetación ribereña

La vegetación ribereña tiene una gran importancia en el mantenimiento de la biodiversidad y regulación de procesos biológicos y físicos de los ecosistemas asociados a ríos y arroyos. Es tal la importancia de estos ecosistemas, que a nivel mundial existen diversos estudios que documentan la influencia de ellos en su entorno (Naiman y Decamps, 1997; Ceccon, 2003; Granados *et al.*, 2006; Camporeale y Ridolfi 2006; Zotlina y Verkovich, 2012), así como en los cambios temporales y espaciales de la conectividad del sistema ribereño a lo largo de un corredor fluvial provocado por las actividades humanas (Tabachi *et al.*, 1990; Wissmar 1998; Yang *et al.*, 2011). Por otro lado, se ha demostrado que funcionan como un filtro ecológico al retener y transformar sustancias tóxicas como los pesticidas, que provienen de terrenos agrícolas adyacentes (Goel *et al.*, 2005).

Entre las funciones de la vegetación ribereña se encuentran: la disminución de erosión de las riberas, la retención de los contaminantes y sedimentos, la filtración de nutrientes, la regulación de la temperatura del agua, la provisión de recursos alimenticios y la diversidad de hábitats para los organismos terrestres y acuáticos (Dosskey *et al.*, 2010; Polasky *et al.*, 2010). Además, estos sistemas ofrecen otros servicios ambientales como el bienestar humano, tales como la provisión de recursos secundarios del bosque para la comunidad, la inspiración cultural y los valores emocionales (Camacho *et al.*, 2006). Estas funciones y servicios están relacionadas con las dimensiones de la conectividad y de la complejidad estructural de la vegetación ribereña (Naiman, *et al.*, 2005; González del Tánago y García de Jalón, 2011). Otros estudios han enfocado que los cambios estructurales, composición y distribución de las especies vegetales son influenciados por el cambio del uso de suelo (Rosales *et al.*, 2001; Treviño *et al.*, 2001; Scott *et al.*, 2009).

### 2.3. Métodos de medición de la calidad del bosque ribereño

Existen varios métodos para la determinación de la calidad de un ecosistema (Kutschker *et al.*, 2009). Entre ellos, se ha popularizado el empleo de índices de calidad de ribera (Palma *et al.*, 2009). En la literatura relacionada a este tema, es factible encontrar diversos índices de calidad. La herramienta más utilizada es el índice de calidad del bosque de ribereño de su abreviatura catalán QBR (*Qualitat del Bosc de Ribera*) y conocido en inglés como *Riparian Forest Quality*. Este índice fue propuesto por Munné *et al.* (2003). Sin embargo, se han desarrollado otros índices para evaluar la calidad del bosque ribereño. Entre ellos, el RQI (*Riparian Quality Index*) desarrollado por González del Tánago (2006), el IHF (Índice de Hábitat Fluvial) por Palma *et al.* (2009) y el índice RFV (*Riparian Forest Evaluation*) aplicado por Magdaleno y Martínez (2014) para la evaluación del estado del bosque de ribera en ríos permanentes. Existiendo también, índices de calidad de la vegetación centrados específicamente en humedales como el VIBI (Vegetation Index of Biotic Integrity) propuesto por Mack (2004) y el FQAI (*Floristic Quality Assessment Index*) por López y Fennessy (2002).

#### 2.3.1. Usos del índice de calidad del bosque ribereño

El índice QBR permite evaluar de forma rápida la calidad de bosques ribereños asociados a los ríos y arroyos. Este índice se han 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 (Kutschler *et al.*, 2009), en Colombia (Posada y Arroyave, 2015), y en una zona templada de México por Rodríguez-Téllez *et al.* (2012). El índice de calidad es una herramienta que puede contribuir a generar y construir planes de manejo integral y diseñar estrategias de restauración en los corredores pluviales.

### 2.4. Restauración ecológica

La restauración ecológica consiste en un proceso para ayudar ya sea de manera activa o pasiva la recuperación de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido (SER, 2004). Cadotte *et al.* (2011) y Mongil *et al.* (2015) manifestaron que este proceso está relacionada con la alteración intencionada de un lugar para ayudar a la auto-recuperación de un ecosistema dañado o transformado a otro uso de suelo, cuya finalidad es recuperar la estructura, diversidad y la funcionalidad. Las restauraciones activa o pasiva comparten la meta

de recuperar el ecosistema de referencia, pero la restauración activa implica una intervención intencional cuya intensidad puede ser intensa o solo apoyar la regeneración natural, ya sea, eliminando o añadiendo especies (Corbin y Holl, 2012). La restauración pasiva consiste en eliminar o mitigar el agente de disturbio, como el pastoreo, los incendios, la tala o el vertido de un contaminante, y esperar a que el sitio se recupere sin la intervención humana, es decir, mediante procesos de regeneración natural (Meli, 2014).

#### 2.4.1. *Importancia de la restauración ecológica*

La restauración de un ecosistema tiene una gran importancia en la recuperación de los servicios ecosistémicos. En esta acción se sugiere que la recuperación de corredores ribereños sea un punto importante a considerar para la mitigación de los posibles impactos del cambio climático (Bowler *et al.*, 2012). Collins *et al.* (2013) consideran que ésta es una razón más para atender la cuenca en su conjunto, desde las partes altas, medias y bajas, suponiendo también que algunas variables se manifiesten a la restauración más rápidamente que otras. La restauración de los ecosistemas ribereños anteriormente originales se reconoce cada vez más como una estrategia paralela que puede aportar beneficios significativos en la recuperación de la estructura y diversidad de especies de flora y fauna, así como el bienestar humano (Corbin y Holl, 2012).

#### 2.4.2. *Principios básicos de restauración ecológica*

La restauración de un ecosistema como la vegetación ribereña involucra el conocimiento de los principios básicos que rigen la asociación vegetal y la biología reproductiva de las especies vegetales nativas (Rondón y Vidal, 2005). Ramírez (2006), menciona que para restaurar un área, se debe tener conocimiento del sustrato, la diversidad de especies vegetales, tolerancia a la sombra, dispersores de semillas, etapas de sucesión, fauna asociada y barreras que detienen la sucesión (pisoteo de ganado, control de incendios) de manera que se active el proceso de sucesión vegetal, a fin de recuperar sus atributos ecológicos previos a la perturbación. Vargas *et al.* (2012), menciona que la capacidad de restaurar un ecosistema se debe reconocer el estado actual del ecosistema, el grado de alteración de la hidrología, geomorfología y suelos, causas por las cuales se generó el daño, estructura, composición y las condiciones anteriores, incluyendo el carácter ecológico, cultural e histórico.

### 2.4.3. Propuestas de la restauración ecológica

Las estrategias de restauración se han desarrollado con la finalidad de mitigar los efectos de la degradación de los ecosistemas. Entre ellas se encuentra la restauración, el reemplazo y el recubrimiento vegetal (revegetación). Estas estrategias varían en cuanto al nivel de recuperación de los ecosistemas degradados, ya sea que busquen recuperar una estructura de la vegetación semejante a la original o sustituirla por una vegetación completamente distinta, o bien solo eliminar los agentes de la degradación, pero sin relacionarse con la recuperación del ecosistema o de sus atributos de diversidad y estructura semejante al ecosistema original (Márquez-Huitzil, 2005a). Algunos, han desarrollado técnicas para restablecer la cubierta vegetal en tierras degradadas a un ritmo más rápido que las estrategias basadas únicamente en los procesos de regeneración natural (Clewell y Aronson, 2013), así como otras propuestas de restauración de ecosistemas alterados (Holmes *et al.*, 2005; Meli *et al.*, 2013; Murcia y Aronson, 2014; Mongil *et al.*, 2015). Chazdon (2008) menciona que las estrategias de restauración más eficientes, en términos de coste y eficacia, se enfocan en los procesos de sucesión natural. Corbin y Holl (2012) proponen la nucleación aplicada (establecimiento de pequeños parches de arbustos o árboles para servir como áreas focales para la recuperación). Otros, han propuesto que la restauración ribereña no se restrinja al uso de especies arbóreas, sino que incorpore otras especies como arbustos y herbáceas, que complementen el mosaico de heterogeneidad de hábitats a lo largo de una cuenca (Chin *et al.*, 2008). Rondón y Vidal (2005), por su parte mencionan que primero se debe establecer una cobertura estabilizadora del terreno usando una diversidad de especies herbáceas nativas, con raíces fibrosas y especies con rizomas y una vez establecida, se combine con una variedad de especies leñosas y arbustivas de crecimiento rápido y con sistemas radiculares profundos. Por otra parte, la eliminación de especies no nativas podría considerarse una restauración dirigida a la fuente de la degradación, debido a que si se retiran, la teoría de restauración sugiere que un arroyo debería recuperarse por sí solo (Palmer *et al.*, 2014). Márquez-Huitzil (2005b) recomienda cinco elementos principales de restauración, tales como: terminar con la causa de afectación, mitigar los efectos producidos, llevar el sistema a condiciones similares, reincorporar elementos bióticos o abióticos originales y monitorear el proceso sucesional.

### 3. Justificación

La presente investigación se realiza con la finalidad de evaluar la calidad de la vegetación ribereña mediante el índice de QBR, en cinco sitios a lo largo del río Tacotalpa, Tabasco: Tapijulapa (s1), Arroyo Chispa (s2), Nuevo Madero (s3), Mexiquito (s4) y Oxolotan (s5). Este índice se ha aplicado en varios ríos mediterráneos y en algunos ríos andinos con resultados muy favorables; sin embargo, en el estado de Tabasco aún se desconoce su aplicación a pesar de su gran red hidrológica y remanentes de vegetación ribereña a lo largo de sus corredores fluviales. El índice QBR puede ser adaptable a las condiciones del sitio e incluir variables ecológicas de la vegetación ribereña que puedan mejorar o complementar el análisis para mayor confiabilidad en su nivel de puntuación (calidad) ya que dentro del ecosistema existen atributos ecológicos fundamentales que pueden ser muy útiles y ser monitoreados para futuros proyectos de investigación. El índice aportan elementos claves que conducen a plantear y proponer estrategias encaminados a la conservación y restauración de bosques ribereños, como una herramienta útil para recuperar áreas con mayores niveles de alteración; de tal manera que puedan posteriormente recuperar sus funciones ecosistemáticas en espacio y tiempo, logren su papel protector de los recursos naturales y mantenimiento de la biodiversidad. Moreno-Jiménez *et al.* (2017) manifiesta que el área forma parte de los hábitats críticos para la conservación de algunas especies arbóreas como *Recchia simplicifolia* que según Wendt y Lott (1985), estas áreas sirvieron como refugio para las especies de selva tropical durante los climas adversos del Pleistoceno. La IUCN (2008) cataloga a esta especie como en Peligro de extinción (EN), por lo tanto este, sitio es un refugio para la especie; así como otros grupos taxonómicos como aves, mamíferos, anfibios y reptiles. En las partes altas de la subcuenca, los fragmentos de la vegetación original (selva alta perennifolia) se han visto reducidos y escasos, por lo que los sistemas ribereños constituyen elementos del paisaje importantes para recuperar la conectividad, recarga de acuíferos, conservación de la biodiversidad y provisión de servicios ambientales a las poblaciones aledañas. Además, el área de estudio está dentro del corredor biológico mesoamericano, lo cual exalta la importancia de valorar la situación actual de la vegetación para recomendar y generar estrategias de restauración en los bosques ribereños del río Tacotalpa.

Las estrategias de restauración de los ecosistemas ribereños han tomado mayor importancia en los últimos años por los valiosos servicios ecosistemáticos que brindan a las poblaciones aledañas y por mantener el equilibrio ecológico de los sistemas ribereños asociados a los ríos

y arroyos (Meli, 2014, Naiman *et al.*, 2005). Es por ello, que la presente investigación pretende aportar información científica de la situación actual del bosque ribereño de los ríos tropicales del sureste de México, que ayude a tomar decisiones gubernamentales para su conservación y restauración de los bosques ribereños que permita generar estrategias de restauración y conservación para mitigar las alteraciones resultantes de las acciones humanas y puedan ser útiles para monitorear las condiciones ecológicas de recuperación o la degradación de las siguientes intervenciones.

#### 4. Preguntas de investigación

1. ¿Existen diferencias en los atributos ecológicos de la vegetación ribereña (diversidad y estructura) en los cinco sitios a lo largo del gradiente ribereño, y si existe alguna relación con las variables métricas del paisaje y con el índice de calidad del bosque de ribera (expresada como **QBR**)?
2. ¿Cuál es el valor del Índice de Calidad del Bosque de Ribera (expresada como **QBR**) presente en las cinco localidades del río Tacotalpa?
3. ¿Cuál es la diversidad de plantas leñosas en proceso de regeneración natural en cinco sitios a lo largo del río Tacotalpa?
4. ¿Qué tipo de estrategia de restauración pueden proponerse y adaptarse bajo las condiciones del tramo del bosque ribereño en los cinco sitios evaluados?

## 5. Objetivos

### 5.1. *Objetivo general*

- Determinar la calidad del bosque ribereño mediante la aplicación del índice QBR y comparar la diversidad y estructura de la vegetación ribereña, así como su relación con las métricas del paisaje y del índice de QBR en cinco sitios del río Tacotalpa: Tapijulapa (s1), Arroyo Chispa (s2), Nuevo Madero (s3), Mexiquito (s4) y Oxolotán (s5), con el fin de identificar elementos adecuados para recomendar a los tomadores de decisiones estrategias de restauración ecológica de los bosques ribereños.

### 5.2. *Objetivos específicos*

- Comparar la diversidad y estructura de la vegetación ribereña en cinco sitios a lo largo del río Tacotalpa, Tabasco, y relacionar con las métricas del paisaje.
- Determinar y comparar la calidad del bosque ribereño mediante la aplicación del índice (expresada como QBR) y relacionar con las variables de vegetación ribereña en cinco sitios a lo largo del río Tacotalpa, Tabasco.
- Comparar la riqueza y diversidad de especies en proceso de regeneración natural en cinco localidades del río Tacotalpa, Tabasco.
- Diseñar y proponer estrategias de restauración que pueden recomendarse y adaptarse bajo las condiciones del bosque ribereño evaluado en cinco sitios del río Tacotalpa.

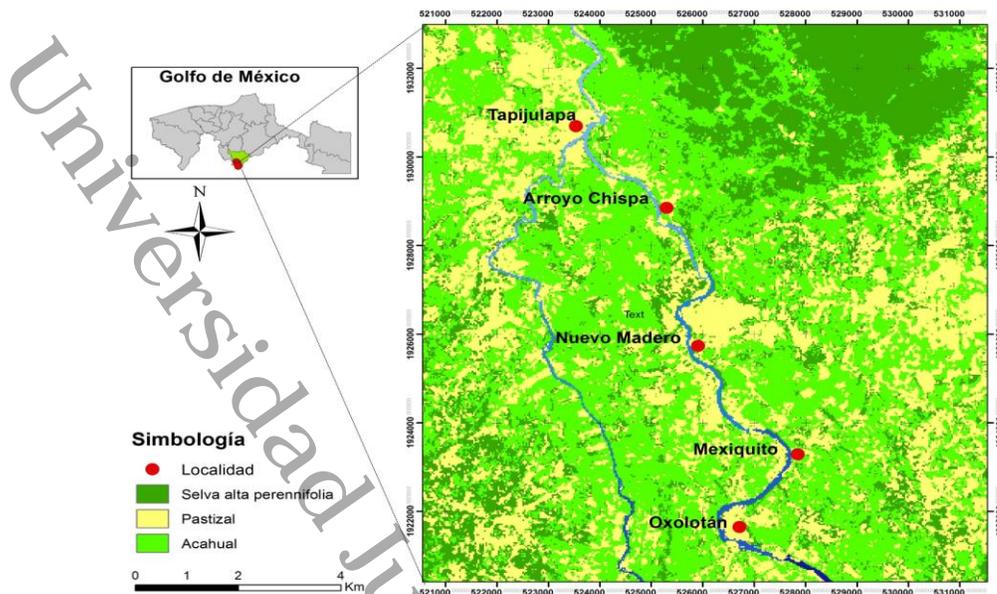
## 6. Hipótesis

- El cambio del uso de suelo generado por diferentes actividades humanas en la región tienen un impacto significativo en los bosques tropicales y en ecosistemas ribereños. Por lo tanto, en esta investigación se espera encontrar diferencias en la diversidad y estructura de especies vegetales, diferencias en los niveles de calidad, alguna relación con las métricas del paisaje y con el índice de calidad del bosque ribereño en cinco sitios del río Tacotalpa.
- En la literatura se ha argumentado que cuando existe una alteración antropogénica o natural en los bosques tropicales se regenera de forma natural. Por todo ello, es posible que en los sitios existan diferencias en la regeneración natural en los cinco sitios a lo largo del río Tacotalpa.
- En varios estudios se han documentado que la técnica de nucleación mediante introducción de árboles nativos, liberación de especies existentes y regeneración natural son algunas de las principales estrategias para la restauración de un ecosistema alterado. Por lo tanto, es factible que en los sitios de estudio se encuentren especies tanto de árboles y arbustos nativos que se puedan considerar en las propuestas de restauración (restauración pasiva y activa).

## 7. Materiales y Métodos

### 7.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la subcuenca del río Tacotalpa del municipio de Tacotalpa, y colinda al norte con los municipios de Jalapa y Macuspana, Tabasco, rodeada al suroeste y sureste por el estado de Chiapas (Figura 1). La subcuenta del río Tacotalpa (j), pertenece en la parte media de la cuenca del río Grijalva-Villahermosa (INEGI, 2000). Ortiz-Pérez *et al.* (2005) manifiesta que el área pertenece a la Sierra Norte de Chiapas. El clima es cálido húmedo con lluvias todo el año Af(m), con una temperatura media anual de 25.6°C y la precipitación anual con 3458.1 mm (García, 2004). La subcuenca se encuentra en rocas sedimentarias de tipo aluviones del Cuaternario Holoceno y lutitas-areniscas del Terciario Paleógeno Paleoceno, relieves de terraza aluvial y colinas con pendientes que van de 6 a 50%, suelo Fluvisol profundo y Acrisoles Cutánicos profundos. En algunas partes se localizan sobre rocas calizas-lutitas del Cretácico superior, con relieves de laderas inclinadas y escarpadas con pendientes de 40 a 100%, y suelos Leptosoles Réndzicos delgados y alto contenido de materia orgánica (SGM, 2005; Zavala-Cruz *et al.*, 2011). La vegetación original en las partes altas de la subcuenca es de selva alta perennifolia con especies de ramón (*Brosimum alicastrum* Sw), guapaque (*Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith), laurelillo (*Nectandra sp.*) y bojón (*Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken) (Zarco-Espinoza *et al.*, 2010). En el bosque ribereño se han registrado especies como: chelele (*Inga vera* Wild.), gusano (*Lonchocarpus hondurensis* Jacq.), coshigue (*Trichilia havanensis* Jacq.), macuilís (*Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A. DC), ciruela (*Spondias mombin* L.), *Piper sp.*, entre otras (Pérez *et al.*, 2005; Moreno-Jiménez *et al.*, 2017).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de los cinco sitios de estudio en el río Tacotalpa, Tabasco.

### 7.2. *Establecimiento de los sitios de estudio y transectos*

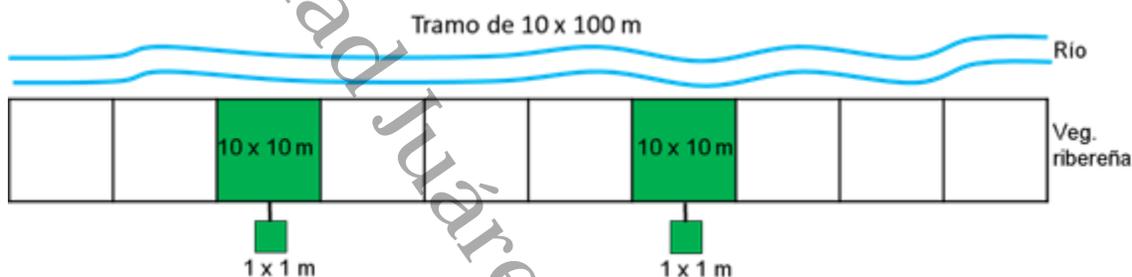
Para la evaluación del índice de la calidad del bosque ribereño (QBR) se seleccionaron cinco sitios a lo largo del río Tacotalpa: Tapijulapa (s1), Arroyo Chispa (s2), Nuevo Madero (s3), Mexiquito (s4) y Oxolotán (s5) (Figura 1). En cada sitio se establecieron 10 transectos de 100 m (metros) de longitud paralelos a la orilla del río y 10 m de ancho (Figura 2) de manera sistemática (Mostacedo y Fredericksen, 2000). La distancia entre los transectos fue de 100 m. En cada transecto se observó la totalidad de la zona de ribera en una longitud sobre la margen del río de 10 m mínimo considerado como zona federal según la Ley de Aguas Nacionales (Diario Oficial de la Federación, 2016). Se empleó la metodología de Munné *et al.*, (2003) que plantean observar ambas márgenes del río como un conjunto (margen derecho e izquierda del río). Esta evaluación se realizó mediante recorridos de campo en los 50 transectos preestablecidos en los cinco sitios de estudio con el apoyo del formato de campo del anexo 1.

### 7.3. *Método de muestreo de vegetación ribereña y regeneración natural*

Para mejorar la confiabilidad del índice de QBR se llevó a cabo el muestreo de vegetación ribereña mediante el método de cuadrado (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Cada transecto de 100 X 10 m se dividió en 10 subunidades de 10 X 10 m (100 m<sup>2</sup>). Se seleccionaron dos unidades de muestreo (UM) al azar. En cada UM se censaron todos los árboles y arbustos con

diámetro a la altura de pecho ( $DAP \geq 1$  cm), registrando su altura correspondiente (Zarco-Espinoza *et al.*, 2010).

Para el muestreo de regeneración consistió en establecer una UM de 1 x 1 m ( $1\text{m}^2$ ) al azar dentro cada subunidad de 10 x 10 m seleccionadas anteriormente. En cada UM, se censaron todos los individuos arbóreos  $\leq 1.30$  m registrando la altura, diámetro a 15 cm del nivel del suelo y abundancia (Sánchez-Pérez *et al.*, 2011) (Figura 2). Esta información permitió conocer el estado de la regeneración natural, dar mayor soporte, confiabilidad e incluir como variables complementarias para el análisis del índice de calidad del bosque ribereño del río Tacotalpa.



**Figura 2.** Ejemplo del diseño de muestreo de la vegetación ribereña y regeneración natural en cada transecto de 100 x 10 m establecidos en las márgenes del río Tacotalpa.

#### 7.4. Determinación del índice de Calidad del Bosque Ribereño (QBR)

La calidad del bosque ribereño se determinó con el índice QBR (Munné *et al.*, 2003; Posada y Arroyave, 2015) considerando sus cuatro aspectos principales (Ver anexo 1). Cada sección del índice está compuesta por uno o varios factores, a los cuales se les asignará una puntuación de 0, 5, 10 o 25, según la condición del sitio. También existe la posibilidad de aumentar o disminuir el total mediante la suma o resta de 5 o 10 puntos, si se presentan unas características específicas. Las cuatro secciones en los que está basado el QBR son totalmente independientes y la puntuación de cada uno de ellos no puede ser negativa ni superior a 25. Cada sección tiene la misma importancia en la cuantificación final del estado de la zona ribereña y la suma de las cuatro secciones genera el resultado final del índice que permite establecer el rango de calidad del sistema de ribera comparando con los niveles de calidad que se definen en la Tabla 1, donde se distinguen cinco niveles (calidad muy buena, calidad buena, calidad aceptable, calidad mala y calidad pésima).

**Tabla 1.** Rangos de puntuación de la calidad del bosque ribereño adaptado de Munné *et al.* (2003) y Posada y Arroyave (2015).

Valor QRB	Nivel de calidad
95-100	Bosque ribereño sin alteraciones, estado natural. Calidad muy buena
75-90	Bosque ribereño ligeramente perturbado. Calidad buena.
55-70	Inicio de alteración importante. Calidad aceptable.
30-50	Alteración fuerte. Calidad mala o deficiente.
0-25	Degradación extrema. Calidad pésima.

## 7.5. Análisis de atributos ecológicos de la vegetación ribereña

### 7.5.1. Diversidad verdadera

La diversidad se determinó mediante el número de especies efectivas con la siguiente ecuación:  ${}^qD = [\sum p_i^q]^{1/(1-q)}$ ; donde:  ${}^qD$  es la diversidad verdadera (Jost 2006),  $p_i$  es la abundancia relativa (abundancia proporcional) de la  $i$ -ésima especie,  $q$  es el orden de la diversidad y define la sensibilidad del índice a las abundancias relativas de las especies (Jost 2006; Moreno *et al.*, 2011). El valor de  $q$  determina qué tanto influyen las especies comunes o las especies raras en la medida de la diversidad (Jost y González-Oreja, 2012). Para este trabajo se consideró dos medidas de diversidad verdadera. La primera medida es la diversidad de orden cero ( ${}^0D$ ), cuyo valor equivale simplemente a la riqueza de especies ( ${}^0D=S$ ), pues de esta manera la fórmula de la diversidad verdadera es insensible a la abundancia relativa de las especies. La segunda medida es la diversidad verdadera de orden 1 ( ${}^1D$ ), en la cual todas las especies son consideradas en el valor de diversidad, ponderadas proporcionalmente según su abundancia en la comunidad (Jost 2006; Moreno *et al.*, 2011). El cálculo directo de la fórmula de diversidad verdadera con valor de  $q=1$  se puede obtener con el exponencial de la entropía de Shannon:  ${}^1D=Exp[-\sum p_i \ln(p_i)]$  (Jost 2006). Para este trabajo, las dos medidas (riqueza de especies y  ${}^1D$ ) se calcularán para cada tramo de estudio. Por todo ello, será necesario calcular previamente la entropía de Shannon-Wiener:  $H'=-\sum p_i \ln p_i$ ; donde:  $p_i$ =abundancia proporcional de la especie  $i$ . La abundancia proporcional es:  $p_i=n_i/N$ , que es el número de individuos de una especie entre el número de individuos de todas las especies (Magurran y McGill, 2011).

### 7.5.2. *Curvas de acumulación de especies y similitud florística*

Para analizar el esfuerzo de muestreo se utilizó el método de curva de acumulación de especies (Graf y Laso, 2000), a través de una curva de acumulación de especies considerando las 20 subunidades como esfuerzo de muestreo de cada sitio usando Estimates 9.1 (Colwell, 2013). La curva se ajustó a la ecuación de Clench como modelo más usado por su buen ajuste en varios grupos taxonómicos (Moreno y Halffter, 2001; Willott, 2001; Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). La similitud florística se determinó mediante un análisis de Cluster Bray-Curtis, tomando en cuenta las densidades absolutas de cada especie (Bray y Curtis, 1957).

### 7.5.3. *Estructura vertical y horizontal de la vegetación ribereña*

La estructura vertical se determinó mediante histogramas de frecuencia en tres categorías de altura (1-10 m, 10-20 m y >20 m), mientras que la horizontal fue por frecuencias agrupadas considerando las clases diamétricas de los arboles ribereños (Zarco-Espinosa et al., 2010; Zamora-Crescencio et al., 2011).

### 7.6. *Métricas del paisaje*

Para analizar la influencia de las infraestructuras alrededor del corredor ribereño se apoyará con el método de Dummel y Pinazo (2013), que consiste en utilizar tres escalas de análisis del paisaje (500, 1000 y 2000 m de radio como buffer, partiendo desde cada punto de muestreo). Según estos autores, la máxima distancia busca evitar la auto-correlación de los datos, debido a la superposición de las áreas definidas en el radio de 2000 m, y en función a la distancia de dispersión de diferentes agentes (tales como el viento y aves) y la influencia del paisaje. En cada sitio se identificó y se determinó la cercanía de infraestructuras asociadas a cambios antropogénicos: la casa más cercana al punto de muestreo, el borde de las zonas urbanas más cercanas, cultivos más cercanos, pastizales más cercanos, remanente de bosque maduro más cercano, complementando con otras variables como las carreteras pavimentadas y terracerías más cercanas hacia el punto de muestreo (Pennington et al., 2010). En total se extrajeron 100 datos de distancias desde el punto de muestreo hacia el borde de cada variable mencionada anteriormente. El análisis se realizó con la ayuda de software ArcGIS 10.0 (ESRI, 2018).

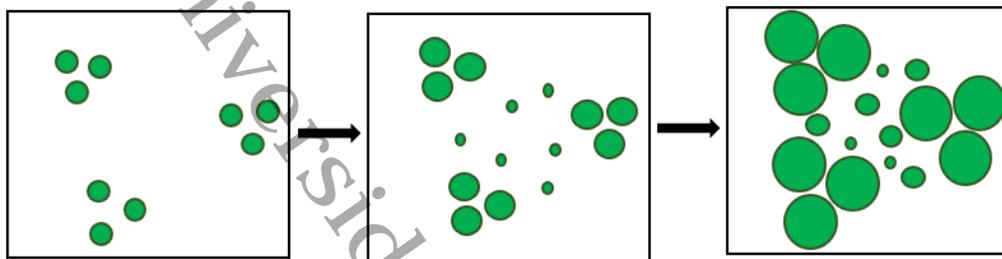
### 7.7. Análisis estadísticos

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los sitios muestreados para las variables de diversidad verdadera de orden  ${}^0D$  y  ${}^1D$ , densidad, DAP y altura de especies leñosas, se empleó un análisis de varianza de un factor ( $p < 0.05$ ) seguido por pruebas *post hoc* de Tukey. Para determinar posibles interacciones entre las variables de vegetación (diversidad  ${}^0D$ ,  ${}^1D$ , número de especies arbustivas y arbóreas, densidad y altura de las especies leñosas ribereñas) y las métricas del paisaje como: distancia de la casa más cercana (Dcas), distancia del borde de la zona urbana más cercana (Dzur), distancia del borde de cultivo más cercano (Dcul), distancia del borde de pastizal más cercano (Dpas), distancia del borde del bosque maduro más cercano (Dbos), distancia de la carretera pavimentada más cercana (Dcarr) y distancia de la terracería más cercana (Dterr) se realizó un análisis de correlación de Pearson. Asimismo, se empleará el mismo análisis para evaluar la calidad de vegetación ribereña mediante el índice de calidad del bosque ribereño (QBR) relacionándolo con los atributos ecológicos de vegetación. Estos últimos se complementarán con un análisis de componentes principales (ACP), utilizándose el paquete estadístico PAST (Hammer, 2012) y SPSS (Castañeda et al., 2010). Todas las pruebas estadísticas se realizaron con un nivel de  $\alpha = 0.05$ .

### 7.8. Diseño de estrategias de restauración

Las estrategias de restauración, se establecieron con base en los resultados obtenidos del Índice de Calidad del Bosque de Ribera (ICBR) para cada localidad (pésima, mala, aceptable, buena y muy buena), del análisis comparativo de estructura, composición florística, diversidad y regeneración natural de las especies vegetales entre los sitios evaluados. Para el diseño de propuestas, se basará en el método de nucleación que consiste en el establecimiento de grupos de vegetación leñoso dispersos a lo largo de un claro (Corbin y Holl, 2012), que a su vez se podrían expandir a través de reclutamiento posterior de nuevas plántulas y dejar que se recupere el ecosistema de manera natural (restauración pasiva) o bien mediante el proceso de asistir la recuperación del bosque ribereño degradado, dañado o destruido (restauración activa) (Meli et al., 2013). Para la propuesta de nucleación se considerarán las especies que resalten por su valor de importancia ecológico y que mejor se adapte a las condiciones de la ribera, así como su resistencia a las inundaciones temporales. Con este método se podría

recuperar la conectividad de los ecosistemas ribereños con los fragmentos de bosque adyacentes a la ribera, de tal manera que servirán como corredores de fauna y facilitadores de la dispersión natural de diversas especies de flora.



**Figura 3.** Método de nucleación de Corbin y Holl (2012), como base teórica para generar las propuestas de restauración en el río Tacotalpa, Tabasco.

### 7.9. Literatura citada

Acosta, R., B. Ríos, M. Rieradevall y N. Prat. 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.

Barba-Macías, E., J. Rangel-Mendoza y R. Ramos-Reyes. 2006. Clasificación de los humedales de Tabasco mediante sistemas de información geográfica. *Universidad y Ciencia* 22(2):101-110.

Bowler, D.E., R. Mant, H. Orr, D.M. Hannah y A.S. Pullin. 2012. What are the effects of wooded riparian zones on stream temperature? *Environmental Evidence* 1: 1-9.

Bray, J. R. y J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27(4): 325-349. DOI: <https://doi.org/10.2307/1942268>.

Cadotte M.W., K. Carscadden y N. Mirotchnick. 2011. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of Applied Ecology* 48:1079–1087.

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.

Camporeale, C y L. Ridolfi. 2006. Riparian vegetation distribution induced by river flow variability: A stochastic approach. *Water resources research* 42:1-13.

Castañeda, M. B., A. F. Cabrera, Y. Navarro y W. de Vries. 2010. Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS: un libro práctico para investigadores y administradores educativos. EDICPUCRS. Porto Alegre, Brasil. 164 pp.

Ceccon, A. 2003. Los bosques ribereños y la restauración y conservación de las cuencas hidrográficas. *CIENCIAS* (72):46-53.

Chazdon, R.L. 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320: 1458-1460.

Chin, A., M.D. Daniels, M.A. Urban, H. Piégay, K.J. Gregory, W. Bigler, A.Z. Butt, J.L. Grable, S.V. Gregory, M. Lafrenz, L.R. Laurencio y E. Wohl. 2008. Perceptions of wood in rivers and challenges for stream restoration in the United States. *Environmental Management* 41:893–903.

Clewell, A.F. y J. Aronson. 2013. Ecological Restoration: principles, values, and structure of an emerging profesión. 2ª ed. Society for Ecological Restoration. Island Press. 303 p.

Collins, K.E., C. Doscher, H.G. Rennie y J.G. Ross. 2013. The effectiveness of riparian restoration on water quality: a case study of lowland streams in Canterbury, New Zealand. *Restoration Ecology*. 21(1):40-48.

Colwell, R. K. 2013. Statistical estimation of species richness and shared species from samples. User's guide. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/Links.htm> (consultado diciembre de 2017).

Corbin, J.D., K.D. Holl. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265:37-46.

DOF (Diario Oficial de la Federación). 2016. Ley de Aguas Nacionales. 110 p.

Dosskey, M.G., P. Vidon, N.P. Gurwick, C.J. Allan, T.P. Duval y R. Lowranc. 2010. The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *Journal of the American Water Resources Association* (JAWRA) 1-18.

Dummel, C. J. y M. Pinazo. 2013. Efecto de variables de paisaje y de rodal sobre la diversidad de especies arbóreas en el sotobosque de plantaciones de *Pinus taeda* en la provincia de Misiones, Argentina. *BOSQUE* 34(3): 331-342. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-92002013000300009>.

ESRI. 2018. ArcGIS®, versión 10.0. Environmental Systems Research Institute. Redlands, USA. [www.esri.com](http://www.esri.com)

Feijóo, C., P. Gantes, A. Giorgi, J.J. Rosso y E. Zunino. 2012. Valoración de la calidad de ribera en un arroyo pampeano y su relación con las comunidades de macrófitas y peces. *Biología acuática* (27):113-128.

Fernández, L., J. Rau y A. Arriaga. 2009. Calidad de la vegetación ribereña del río Maulín (41°28' S; 72°59' W) utilizando el QBR. *Guayana Bot.* 66(2):269-278.

García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie de libros. 5ª ed. UNAM, D.F. 90 p.

Goel, A., L.L. McConnell y A. Torrents. 2005. Wet deposition of current use pesticides at a rural location on the Delmarva península: impact of rainfall patterns and agricultural activity. *Journal of Agricultural and food chemistry* 53:1915-1924.

González del Tánago, M. y D. García de Jalón. 2011. Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica* 30(2):235-254.

González del Tánago, M., D. García de Jalón y R. Garilleti. 2006. Índice RQI para la valoración de las riberas fluviales en el contexto de la Directiva Marco del Agua. *Ingeniería Civil* 143: 97-108.

Graf, E. y L.S. Laso, 2000. Muestreo de la vegetación. Unidad de Sistemas Ambientales. Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 41 p.

Granados, S.D., M.Á.H. García y G.F.L. Ríos. 2006. Ecología de las zonas riberas. *Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(001):55-69.

Guevara, G., C. Reinoso, J.E. García, L.M. Franco, L.J. García, D.C. Yara, N. Briñez, M.L. Ocampo, M.I. Quintana, D.Y. Pava, N.Y. Flórez, M.F. Ávila, E.E. Hernández, L.A. Lozano, M. Guapucal, D.A. Borrero y E.J. Olaya. 2008. Aportes para el análisis de ecosistemas fluviales: una visión desde ambientes ribereños. *Tumbaga* 3:109.127.

Hammer, O. 2012. Paleontological statistics. Reference manual. University of Oslo. <https://folk.uio.no/ohammer/past/pastmanual.pdf> (consultado noviembre de 2017).

Holmes, P.M., D.M. Richardson, K.J. Eslerb, E.T.F. Witkowski y S. Fourie. 2005. A decision-making framework for restoring riparian zones degraded by invasive alien plants in South Africa. *South African Journal of Science* 101:553-564.

INEGI, 2000. Cuaderno estadístico municipal de Tacotalpa, Tabasco. 163 pp.

Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8(31): 151-161.

- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113(2):363-375.
- Jost, L. y J.A. González-Oreja. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta zoológica lilloana* 56(1-2):3-14.
- Kutschker, A. C. Brand y M. L. Miserendino. 2009. Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral* 19:19-34.
- López, R.D. y M.S. Fennessy. 2002. Testing the floristic quality assessment index as an indicator of wetland condition. *Ecological Applications* 12:487-497.
- Mack, J.J. 2004. Integrated Wetland Assessment Program. Vegetation Index of Biotic Integrity (VIBI) for wetlands: ecoregional, hydrogeomorphic, and plant community comparisons with preliminary wetland aquatic life use designations. Ohio Environmental Protection Agency, Division of Surface Waters, Wetland Ecology Group, Columbus, Ohio. 91 p.
- Magdaleno, F. y R. Martínez. 2014. Evaluating the quality of riparian forest vegetation: the Riparian Forest Evaluation (RFV) index. *Forest Systems* 23(2):259-272.
- Magurran, A.E. y B.J. McGill. 2011. Biological diversity. Frontiers in Oxford University Press. 332 p.
- Márquez-Huitzil, R. 2005a. 1ra. Edición. Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problema en restauración. In: Ó. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara, eds. Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. p.159-168.
- Márquez-Huitzil, R. 2005b. 1ra. Edición. Planificación para la restauración asociada con el aprovechamiento de los recursos naturales. In: Ó. Sánchez, E. Peters, R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara. eds. Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología. México D.F. p 169-179.
- Meli, P. 2014. Restauración de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas ribereños y otros humedales. Meta-análisis global y evaluación de especies útiles en el trópico húmedo mexicano. Tesis doctoral. Campus Universitario. Universidad de Alcalá de Henares (Madrid). 198 p.
- Meli, P., M. Martínez-Ramos y J.M. Rey-Benagas. 2013. Selecting species for passive and active riparian restoration in Southern México. *Restoration Ecology* 1-3.

Mongil, J., J. Navarro y V. Díaz. 2015. Esquema ecológico aplicado a una restauración forestal en cárcavas de la Sierra de Ávila (centro de España). *Maderas y Bosques* 21(1):11-19.

Moreno, C. E. y G. Halffter. 2001. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 38(2): 487-490. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00590.x>

Moreno, C. E., F. Barragán, E. Pineda y N.P. Pavón. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad* 82(4):1249-1261.

Moreno, C.E., 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M & T-Manuales y Tesis SEA, vol.1. Zaragoza. 84 p.

Moreno-Jiménez, V., O. Castillo-Acosta, L. Gama-Campillo, J. Zavala-Cruz y M.A. Ortiz-Pérez. 2017. Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tacotalpa, Tabasco, México. *Madera y Bosques* 23(1):91-109.

Mostacedo, B. y T.S. Fredericksen, 2000. Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. BOLFOR, Santa Cruz de la Sierra Bolivia. 87 p.

Munné, A., N. Prat, C. Solá, N. Bonada, M. Rieradevall. 2003. A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13:147–163.

Murcia, C. y J. Aronson. 2014. Intelligent Tinkering in Ecological Restoration. *Ecology Restoration* 22(3):279–283.

Naiman, R.J. y H. Décamps. 1997. The ecology of interfaces: Riparian zones. *Annu. Rev. Ecol. System* 28:621-658.

Naiman, R.J., H. Décamps y M.E McClain. 2005. Riparia. Ecology, conservation, and management of streamside communities. Academic Press, London. 415 p.

Ortiz-Pérez, M.A.; C. Slebe y S. Cram, 2005. Diferenciación Ecogeográfica de Tabasco, In: Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago, eds. Biodiversidad del Estado de Tabasco. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. P 305-322.

Palma, A., R. Figueroa y V.H. Ruíz. 2009. Assesment of a riparian and fluvial habit through QRB IHF index. *Gayana* 73(1):57-63.

Palmer, M.A., K.L. Hondula y B.J. Koch. 2014. Ecological restoration of streams and rivers: shifting strategies and shifting goals. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 45:247-69.

Pennington, D. C., J. R. Hansel y D. L. Gorchov. 2010. Urbanization and riparian forest woody communities: diversity, composition, and structure within a metropolitan landscape. *Biological Conservation* 143(1): 182-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.10.002>.

Pérez, L.A.; S.M. Sousa; A.M. Hanan; F. Chiang y P. Tenorio, 2005. Vegetación Terrestre, In: Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago, eds. Biodiversidad del Estado de Tabasco. Instituto de Biología, UNAM-CONABIO. México. P 65-110.

Polasky, S., E. Nelson, D. Pennington y K.A. Jhpnsen. 2010. The impact of land-use change on ecosystem services, biodiversity and returns to landowners: A Case Study in the State of Minnesota. *Environ Resource Econ* 48:219-242.

Posada, P.M.I. y M.M.D.P. Arroyave. 2015. Análisis de la calidad del retiro ribereño para el diseño de estrategias de restauración ecológica en el río La Miel, Caldas, Colombia. *Revista EIA* 12(23):117-128.

Ramírez, N. 2006. Reproductive biology and plant species selection for habitat restoration in the Venezuelan gran sabana Plateau. *Interciencia* 31(5):330-337.

Rodríguez-Téllez, E., P.A. Domínguez-Calleros, M. Pompa-García, J.A. Quiroz-Arratia y M.E. Pérez-López. 2012. Calidad del bosque de ribera del río El Tunal, Durango, México; mediante la aplicación del índice QBR. *Gayana Bot.* 69(1):147-151.

Rondón, R.J.A y R. Vidal. 2005. Establecimiento de la cubierta vegetal en áreas degradadas (principios y métodos). *Ciencias forestales y ambientales* 38:63-82.

Rosales, J., G. Petts y C.K. Vispo, 2001. Ecological gradients within the riparian forests of the lower Caura River, Venezuela. *Plant Ecology* 152:101-118.

Sánchez-Pérez, B.R., O. Castillo-Acosta y L.D.C. Cámara-Cabrales. 2011. Regeneración natural de la selva alta perennifolia en el parque estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco, México. *Polibotánica* (32): 63-88.

Santos, M.J. 2010. Encroachment of upland Mediterranean plant species in riparian ecosystems of southern Portugal. *Biodivers Conserv* 19:22667-2684.

Scott, M.L., P.L. Nagler, E.P. Glenn, C. Valdes Casillas, J.A. Erker, E.W. Reynolds, P.B. Shafroth, E. Gomez Limon y C.L. Jones, 2009. Assessing the extent and diversity of riparian ecosystems in Sonora, México. *Biodivers. Conserv.* 18: 247-269.

SER. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. Disponible en: [www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration](http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration).

SGM (Servicio Geológico Mexicano), 2005. Carta Geológico-Minera Villahermosa E15-8 Tabasco, Veracruz, Chiapas y Oaxaca.

Smith, T.M. y R.L. Smith. 2007. Ecología. 4ª ed. Peason Educación, S.A. Madrid. 642 p.

Suárez, M.L., M.R. Vidal Abarca, M. del M. Sánchez Montoya, J. Alba Tercedor, M. Álvarez, J. Avilés, N. Bonada, J. Casas, P. Jáimez Cuellar, A. Munné, I. Pardo, N. Prat, M. Rieradevall, M.J. Salinas, M. Toro y S. Vivas. 2002. Las riberas de los ríos mediterráneos y su calidad: el uso del índice QBR. *Limnetica*, 21(3-4):135–148.

Sunil, C., R.K. Somashekar y B.C. Nagaraja. 2010. Riparian vegetation assessment of Cauvery River basin of South India. *Environ Monit Assess* 170:545-553.

Tabachi, E., A.M. Planty Tabachi y O. Décamps, 1990. Continuity and discontinuity of the Riparian vegetation along a fluvial corridor, France. *Lands. Ecol.* 5(1): 9-20.

Tanaka, M.O., A.L.T.D. Souza, L.E. Moschini y A.K.D. Oliveira. 2016. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216:333-339.

Treviño, G.E.J., C.C. Camacho y O. A.A. Calderón, 2001. Distribución y estructura de los bosques de galería en dos ríos del Centro Sur de Nuevo León. *Madera y Bosques* 7(001):13-25.

Vargas R.O., J.E.D. Triana, S.P.R. Bejarano y P.A.G. Ruíz. 2012. Guías técnicas para la restauración ecológica de los ecosistemas de Colombia. Grupo de restauración ecológica GREUNAL. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, D.C. 126 p.

Vásquez, G., J.G. García Franco, G. Castillo, F. Escobar, A. Guillén, M.L. Martínez, K. Mehlreter, R. Novelo, E. Pineda, V. Sosa, C. Valdespino, A. Campos C, R. Landgrave, E. Montes de Oca, A. Ramírez y J. Galindo. 2015. Ecosistemas ribereños: un paisaje fragmentado. CONABIO. *Biodiversitas* 119:7-11.

Wendt, T. y E.J. Lott. 1985. A new simple-leaved species of *Recchia* (Simaroubaceae) from southeastern México. *Brittonia* 37(2):219-225.

Willot, S. J. 2001. Species accumulation curves and the measure of sampling effort. *Journal of Applied Ecology* 38(2): 484-486. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00589.x>

Wissmar, R.C. y R.L. Beschta, 1998. Restoration and management of riparian ecosystems: a catchment perspective. *Fresh. Biol.* 40:571-585.

World Conservation Monitoring Centre. 1998. *Recchia simplicifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998:

e.T31854A9665252. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T31854A9665252.en> (05 Feb 2018).

Yang, J.; T.E. Dilts; L.A. Condon; P.L. Turner y P. Weisberg, 2011. Longitudinal and transverse scale environmental influences on riparian vegetation across multiple levels of ecological organization. *Lands. Ecol.* 26: 381-395.

Zamora-Crescencio, P., M. R. Domínguez-Carrasco, P. Villegas, C. Gutierrez-Báez, L. A. Manzanero-Acevedo, J. J. Ortega-Haas, S. Hernández-Mundo, E. C. Puc-Garrido y R. Puch-Chávez. 2011. Composición florística y estructura de la vegetación secundaria en el norte del estado de Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* 89: 27-35. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.368>.

Zarco-Espinosa, V.M., J.I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y composición de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Univ. y Cien.* 26(1):1-17.

Zavala-Cruz, J., D.J. Palma, L.C.R.F. Cabrera, A.L. Castañeda y E.S. Torres. 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. 90 pp.

Zotlina, L.V. y K.M. Verkovich, 2012. On the influence of riparian vegetation on channel processes. *Geog. and Nat. Resour.* 33(1): 31-37.



## CAPITULO II. Artículo científico 1 (publicado).

Características del paisaje y su relación con la diversidad y estructura de la vegetación ribereña del sureste de México.

Landscape characteristics and its relationships with the diversity and structure of riparian vegetation of southeastern Mexico

Victorio Moreno-Jiménez<sup>1</sup>, Lilia M. Gama-Campillo<sup>1,3</sup>, Alejandro Romero-García<sup>1</sup>, Susana Ochoa-Gaona<sup>2</sup>, Wilfrido M. Contreras-Sánchez<sup>1</sup>, Nelly del C. Jiménez-Pérez<sup>1</sup>, Ena E. Mata-Zayas<sup>1</sup>

### Resumen:

**Antecedentes y Objetivos:** El cambio de uso del suelo generado por actividades humanas, ha fragmentado los corredores ribereños causando cambios en la diversidad y estructura de su vegetación. El objetivo de este estudio fue comparar la diversidad, estructura y similitud florística en cinco sitios del río Tacotalpa en Tabasco, México, relacionando las variables de vegetación con métricas del paisaje.

**Métodos:** Se realizó un muestreo en cinco sitios del río Tacotalpa: Tapijulapa (s1), Arroyo Chispa (s2), Nuevo Madero (s3), Mexiquito (s4) y Oxolotán (s5). En cada sitio se establecieron 20 unidades de muestreo de 10 × 10 m. Los árboles y arbustos con un DAP ≥ 1 cm fueron censados. La diversidad y estructura se comparó con un ANOVA de un factor. La similitud florística entre sitios se comparó con un cluster Bray-Curtis correlación de Pearson y ACP entre las variables de vegetación y métricas del paisaje, usando PAST y SPSS.

**Resultados clave:** Se registraron 2589 individuos en 38 familias, 92 géneros y 119 especies. La diversidad <sup>0</sup>D del s2 fue estadísticamente menor que en s1 y s3, mientras que <sup>1</sup>D fue similar en los cinco sitios. La densidad de árboles del s1 fue significativamente mayor que s2, s3 y s5. Los promedios del DAP y altura del s1 fueron bajos, mostrando significancia con el s2 (p < 0.05). La similitud florística osciló entre 0.41 a 0.58. La diversidad orden <sup>0</sup>D, las especies arbustivas y la densidad de árboles se correlacionaron positivamente con algunas de las métricas del paisaje. La diversidad <sup>1</sup>D y especies arbóreas se correlacionaron positivamente con la distancia de carretera pavimentada, y la altura con la de terracería.

**Conclusiones:** Las diferencias entre los sitios sugieren que existen diferentes niveles de perturbación en el río Tacotalpa. Las correlaciones positivas entre las variables de vegetación y métricas del paisaje indican que las infraestructuras cercanas a la ribera modifican la diversidad y estructura de la vegetación ribereña.

**Palabras clave:** bosque ribereño, correlación, densidad arbórea, diversidad verdadera, perturbación.

### Abstract:

**Background and Aims:** Land use change generated by human activities has fragmented riparian corridors causing changes in the diversity and structure of its vegetation. The objective of this study was to compare the diversity, structure and floristic similarity in five sites of the Tacotalpa River, Tabasco, Mexico, related to vegetation variables with landscape metrics.

**Methods:** Sampling was performed at five sites of the Tacotalpa River: Tapijulapa (s1), Arroyo Chispa (s2), Nuevo Madero (s3), Mexiquito (s4) and Oxolotán (s5). At each site, 20 sampling units of 10 × 10 m were established. Trees and shrubs with a DBH ≥ 1 cm were counted. The diversity and structure were compared with a one-way ANOVA. The floristic similarity between sites was compared with a Bray-Curtis cluster, Pearson correlation and PCA between vegetation variables and landscape metrics, using PAST and SPSS.

**Key results:** There were 2589 individuals in 38 families, 92 genera and 119 species. The diversity <sup>0</sup>D of s2 was statistically lower than s1 and s3, while <sup>1</sup>D was similar in the five sites. The tree density of s1 was significantly greater than in s2, s3 and s5. The averages of DHB and height of s1 were low, showing significance with s2 (p < 0.05). The floristic similarity ranged from 0.41 to 0.58. Order <sup>0</sup>D diversity, shrub species and tree density correlated positively with some of the landscape metrics. The <sup>1</sup>D diversity and tree species correlated positively with the paved road distance, and height with the dirt road. **Conclusions:** The differences between the sites suggest that there are different levels of disturbance along the Tacotalpa River. Positive correlations between vegetation variables and landscape metrics indicate that infrastructures near the river modify the diversity and structure of the riparian vegetation.

**Key words:** correlation, disturbance, riparian forest, tree density, true diversity.

1 Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya, 86150 Villahermosa, Tabasco.

2 El Colegio de la Frontera Sur, Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, Av. Rancho Poligono No. 2ª, Col. Ciudad Industrial, 24500 Lerma, Campeche, Campeche.

3 Autor para la correspondencia: [lilygama@yahoo.com](mailto:lilygama@yahoo.com)

Recibido: 11 de diciembre de 2018.

Revisado: 1 de abril de 2019.

Aceptado por Moisés Méndez Toribio: 20 de mayo de 2019.

Publicado Primero en línea: 14 de junio de 2019.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 126 (2019).

Citar como: Moreno-Jiménez, V., L. M. Gama-Campillo, A. RomeroGarcía, S. Ochoa-Gaona, W. M. Contreras-Sánchez, N. del C. Jiménez-Pérez y E. E. Mata Zayas. 2019. Características del paisaje y su relación con la diversidad y estructura de la vegetación ribereña del sureste de México. Acta Botanica Mexicana 126: e1487. DOI: 10.21829/abm.126.2019.1487



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

## Introducción

Los bosques ribereños son de los ecosistemas más vulnerables al cambio de uso del suelo generado por actividades humanas como la agricultura, ganadería, transporte, comunicación y urbanización (Apan et al., 2002; Burton et al., 2005, 2009; Vásquez et al., 2015). Estas actividades han provocado pérdidas y cambios en la diversidad, estructura y dinámica en los ecosistemas ribereños (Yoshida y Oka, 2004; Richardson y Rejmánek, 2011), afectando sustancialmente los servicios ecosistémicos de las riberas (Naiman et al., 2000; Meli et al., 2017). En comunidades tropicales la diversidad y estructura de la vegetación varían a través del gradiente altitudinal (Acosta et al., 2008; García y Wollmann, 2012) y por el efecto de las actividades antropogénicas (Apan et al., 2002, Burton et al., 2005; Sunil et al., 2010; Dummel y Pinazo, 2013), lo cual genera cambios en la comunidad de especies vegetales (Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2016).

Los bosques ribereños tienen múltiples funciones, entre las más importantes se pueden mencionar: la reducción de sedimentos y contaminantes hacia los sistemas acuáticos, la mitigación de inundaciones, mantenimiento y distribución de nutrientes de suelo a lo largo del río (Granados Sánchez et al., 2006; Nilsson y Renöfält, 2008; Arthington et al., 2010). Además, los bosques ribereños proveen recursos para la sobrevivencia de las poblaciones aledañas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Garrido et al., 2010; Meli et al., 2017). Dada la importancia y la información aún escasa sobre los ecosistemas ribereños y su influencia con las actividades antropogénicas en áreas adyacentes en el estado de Tabasco y el sureste de México, surge la necesidad de evaluar a escala local, la diversidad y estructura de la vegetación ribereña y su relación con algunas métricas del paisaje. Los sitios de estudio forman parte de los hábitats críticos para la conservación de la especie arbórea *Recchia simplicifolia* Wendt & Lott (Wendt y Lott, 1985; Moreno Jiménez et al., 2017). The World Conservation Monitoring Centre (1998) cataloga a esta especie como en Peligro de extinción (EN), por lo que los sitios pueden ser considerados como refugio para la especie; así como otros grupos taxonómicos asociados al corredor ribereño (aves, mamíferos, anfibios y reptiles). De acuerdo con Wendt y

Lott (1985), estas áreas presentan fuertes afinidades florísticas y pudieron haber servido como refugio de flora tropical durante los climas adversos del Pleistoceno. Además, los sitios forman parte del Parque Estatal La Sierra de Tabasco y del Corredor Biológico Mesoamericano, lo cual realza la importancia de evaluar las condiciones actuales de la vegetación ribereña, que servirá como base científica para la generación de estrategias de restauración y conservación de los sistemas ribereños en ríos tropicales. El presente estudio planteó las siguientes preguntas de investigación: ¿existen diferencias en los atributos de la vegetación ribereña en los cinco sitios situados a lo largo del gradiente ribereño? y ¿existe alguna relación con las métricas del paisaje en áreas adyacentes del río Tacotalpa? En ese sentido, de acuerdo a los datos registrados de presiones antropogénicas en la región, se esperaba encontrar diferencias en la diversidad y la estructura de la vegetación ribereña, así como algunas correlaciones entre las métricas del paisaje.

El objetivo de este estudio fue comparar la diversidad y estructura de la vegetación ribereña en cinco sitios del río Tacotalpa, Tabasco, México y relacionar las variables de la vegetación ribereña con las métricas del paisaje.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la subcuenca del río Tacotalpa del municipio Tacotalpa, Tabasco y pertenece a la cuenca río Grijalva-Villahermosa en su porción media y a las corrientes de agua con el nombre Tacotalpa-Sierra de clave RH30Dj (INEGI, 2000). El área colinda al norte con los municipios de Jalapa y Macuspana, Tabasco, rodeada al sur, oeste y este por el estado de Chiapas (Fig. 1). Fisiográficamente pertenece a la Sierra Norte de Chiapas (Ortiz-Pérez et al., 2005). El clima es cálido húmedo con lluvias todo el año Af(m), con una temperatura media anual de 25.6 °C, siendo la máxima media mensual de 29.2 °C en mayo y la mínima de 22 °C en diciembre. La precipitación anual es de 3458 mm (García, 2004). La subcuenca se encuentra entre 40 y 620 m s.n.m., en relieves de colinas, laderas inclinadas, escarpadas, sobre

rocas calizas y rocas lutitas, en algunas áreas sobre lutitas areniscas y sedimentos aluviales en las partes bajas (SGM, 2005; Zavala-Cruz et al., 2011). La vegetación original que se encuentra en las partes altas de la subcuenca pertenece a la selva alta perennifolia, compuesta con especies como ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.), guapaque (*Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith), laurelillo (*Nectandra* sp.) y bojón (*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.) Oken) (Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares, 2010). En el bosque ribereño se han reportado especies comunes como: chelele (*Inga vera* Willd.), coshigue (*Trichilia havanensis* Jacq.), gusano (*Lonchocarpus hondurensis* Benth.), uvero (*Coccoloba barbadensis* Jacq.), macuilís (*Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A. DC), ciruela (*Spondias mombin* L.) y *Piper* spp. (Pérez et al., 2005; Moreno-Jiménez et al., 2017).

### Sitios de muestreo

A lo largo del río Tacotalpa se ubicaron cinco sitios entre 211 y 236 m de altitud (Cuadro 1): Tapijulapa (s1), Arroyo Chispa (s2), Nuevo Madero (s3), Mexiquito (s4) y Oxolotán (s5). Los criterios utilizados para la selección de los sitios analizados fueron la altitud y las posibilidades de acceso.

Estos se ubican en la cuenca media, donde el efecto de los meandros no es tan fuerte como sucede en la parte baja (planicie tabasqueña), donde se observa una mayor acumulación de sedimentos (García, 2011). Los s1 y s2 se localizan sobre rocas de lutitas-areniscas del Terciario

Paleógeno, relieves de terraza aluvial y colinas con pendientes que van de 11 a 25%, con suelo Acrisol de media a baja fertilidad. Los s3, s4 y s5 se encuentran en rocas limonitas-areniscas del Terciario Paleógeno, relieves de laderas inclinadas y escarpadas con pendientes de 40 a 100%, suelos Alisoles, arcillosos y con buen contenido nutrimental (SGM, 2005; Zavala-Cruz et al., 2011, 2016).

Cuadro 1: Datos de los cinco sitios de muestreo del río Tacotalpa, Tabasco, México. s1=Tapijulapa, s2=Arroyo Chispa, s3=Nuevo Madero, s4=Mexiquito y s5=Oxolotán.

Sitios	Número de habitantes	Altitud (m)	Coordenadas geográficas	
			Latitud N	Longitud O
s1	2846	211	17°27'43.54"	-2°46'41.95"
s2	175	217	17°26'43.59"	-2°45'42.25"
s3	164	226	17°25'02.20"	-2°45'21.60"
s4	262	234	17°23'42.36"	-2°44'16.13"
s5	1763	236	17°22'49.18"	-2°44'54.56"

### Método de muestreo de la vegetación ribereña

En cada sitio, se establecieron diez transectos de 100 × 10 m paralelos a la orilla del río con una distancia de 100 m entre cada uno. Posteriormente, se subdividieron en 10 unidades de muestreo de 10 × 10 m (Mostacedo y Fredericksen, 2000) y dentro de ellas se seleccionaron dos unidades de muestreo (UM) con menor alteración. En total se muestrearon 20 UM de 10 × 10 m (2000 m<sup>2</sup>) en cada sitio. En cada UM se censaron todos los árboles y arbustos con DAP (diámetro a la altura del pecho) a 1.3 m sobre el nivel de suelo ≥1 cm. Se tomaron datos de altura, DAP y

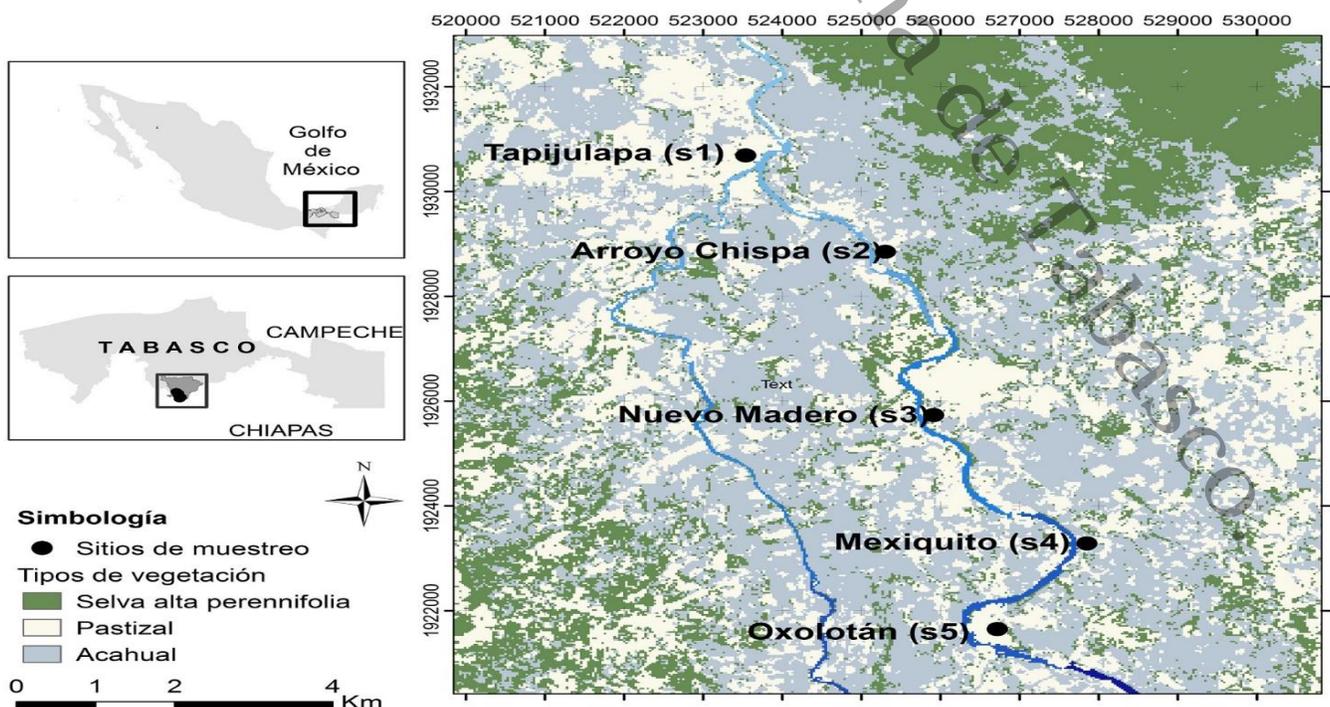


Figura 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio y de los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México.

número de individuos. La identificación de las especies se realizó con base en la consulta de bibliografía especializada (Gutiérrez, 2004; Pennington y Sarukhán, 2005; Pérez et al., 2005; LiraNoriega et al., 2007; Espinoza-Jiménez et al., 2014; GómezDomínguez et al., 2015; Moreno-Jiménez et al., 2017) y The Plant List (TPL, 2013) para confirmar el nombre correcto de las especies.

### Análisis de diversidad y estructura

La diversidad se calculó mediante el número de especies efectivas con la ecuación  ${}^qD = (\sum p_i^q)^{1/(1-q)}$ ; donde:  ${}^qD$ =diversidad verdadera,  $p_i$ =densidad relativa de la  $i$ ésima especie,  $q$ =orden de la diversidad y define la sensibilidad del índice a las densidades relativas de las especies (Jost, 2006; Moreno et al., 2011; Jost y González-Oreja, 2012). En este análisis se consideraron dos medidas de diversidad verdadera: orden cero ( ${}^0D$ ), cuyo valor equivale a la riqueza de especies ( $S$ ), donde la diversidad verdadera es insensible a la densidad relativa de las especies, y el orden 1 ( ${}^1D$ ), donde todas las especies son consideradas en el valor de diversidad, ponderadas proporcionalmente según su densidad en la comunidad (Jost, 2006; Moreno et al., 2011). El cálculo directo  ${}^1D$  se puede obtener con el exponencial de entropía de Shannon:  ${}^1D = \text{Exp}(-\sum p_i \times \ln(p_i))$  (Jost, 2006), donde:  $p_i = n_i/N$ , que es el número de individuos de la  $i$ ésima especie entre el número de individuos de todas las especies. La equitatividad se determinó con la ecuación  $E = H'/\ln(S)$  (Magurran y McGill, 2011).

Para evaluar si el esfuerzo de muestreo fue suficiente, se construyó una curva de acumulación de especies considerando las 20 subunidades de muestreo de cada sitio usando Estimates 9.1 (Colwell, 2013). La curva se ajustó con la ecuación de Clench, que es el modelo más usado debido al buen ajuste en la mayoría de los grupos taxonómicos (Moreno y Halffter, 2001; Willott, 2001; Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). La similitud florística se determinó mediante un análisis de Cluster Bray-Curtis, tomando en cuenta las densidades absolutas de cada especie (Bray y Curtis, 1957; Ramírez et al., 2012).

La estructura vertical se determinó mediante histogramas de frecuencia en tres categorías de altura (1-

10 m, 10-20 m y >20 m), mientras que la horizontal fue por frecuencias agrupadas considerando las clases diamétricas de los árboles ribereños (Zarco-Espinosa et al., 2010; ZamoraCrescencio et al., 2011).

### Métricas del paisaje

Este análisis se apoyó con el método de Dummel y Pinazo (2013), que consiste en utilizar tres escalas de análisis del paisaje (500, 1000 y 2000 m de radio como buffer, partiendo desde cada punto de muestreo). Según éstos autores, la máxima distancia busca evitar la autocorrelación de los datos, debido a la superposición de las áreas definidas en el radio de 2000 m, y en función a la distancia de dispersión de diferentes agentes (tales como el viento y aves) y la influencia del paisaje. En cada sitio se identificó y se determinó la cercanía de infraestructuras asociadas a cambios antropogénicos: la casa más cercana al punto de muestreo, el borde de las zonas urbanas más cercanas, cultivos más cercanos, pastizales más cercanos, remanente de bosque maduro más cercano, complementando con otras variables como las carreteras pavimentadas y terracerías más cercanas hacia el punto de muestreo (Pennington et al., 2010). En total se extrajeron 100 datos de distancias desde el punto de muestreo hacia el borde de cada variable mencionada anteriormente. El análisis se realizó con la ayuda de software ArcGIS 10.0 (ESRI, 2018).

### Análisis estadísticos

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los sitios muestreados para las variables de diversidad verdadera de orden  ${}^0D$  y  ${}^1D$ , densidad, DAP y altura de especies leñosas, se empleó un análisis de varianza de un factor ( $p < 0.05$ ) seguido por pruebas *post hoc* de Tukey. Para determinar posibles interacciones entre las variables de vegetación (diversidad  ${}^0D$ ,  ${}^1D$ , número de especies arbustivas y arbóreas, densidad y altura de las especies leñosas ribereñas) y las métricas del paisaje como: distancia de la casa más cercana ( $D_{cas}$ ), distancia del borde de la zona urbana más cercana ( $D_{zur}$ ), distancia del borde de cultivo más cercano ( $D_{cul}$ ), distancia del borde de pastizal más cercano ( $D_{pas}$ ), distancia del borde del bosque maduro más cercano ( $D_{bos}$ ), distancia de la carretera pavimentada más cercana ( $D_{carr}$ ) y

distancia de la terracería más cercana (Dterr) se realizó un análisis de correlación de Pearson. Este último se complementó con un análisis de componentes principales (ACP), utilizándose el paquete estadístico PAST (Hammer, 2012) y SPSS (Castañeda et al., 2010). Todas la pruebas estadísticas se realizaron con un nivel de  $\alpha=0.05$ .

## Resultados

### Composición florística

En el presente trabajo se registraron 2589 individuos distribuidos en 38 familias, 92 géneros y 119 especies. Nueve familias concentran el mayor número de especies: Fabaceae (19), Moraceae (10), Euphorbiaceae (7), Malvaceae (7), Myrtaceae (7), Rubiaceae (7), Lauraceae (5), Meliaceae (5) y Piperaceae (5), resaltando la diversidad representada por las primeras dos familias conteniendo 19 y 10 especies respectivamente (Fig. 2). Los géneros más diversos fueron *Piper* L. (5), *Ficus* L. (4) *Nectandra* Rottb., *Acalypha* L. y *Lonchocarpus* Kunth (3) (Apéndice). Los valores más altos de riqueza de especies se presentaron en s4 y s5 (70 y 69 especies respectivamente), mientras que s2 presentó el más bajo (52) (Cuadro 2).

Las curvas de acumulación de especies señalan que el s4 acumuló especies más rápidamente y con mayor riqueza (70), seguido del s5, s3, s1 y s2 (69, 65, 54 y 52 respectivamente) (Fig. 3). En este orden, el modelo de Clench estimó 86, 90, 80, 67 y 62 especies, indicando que el inventario de árboles ribereños fue representativo en los cinco sitios (>75%). De acuerdo al modelo de Clench, el valor de  $R^2=0.99$  mostró buen ajuste en las curvas de acumulación de especies en los cinco sitios. La pendiente

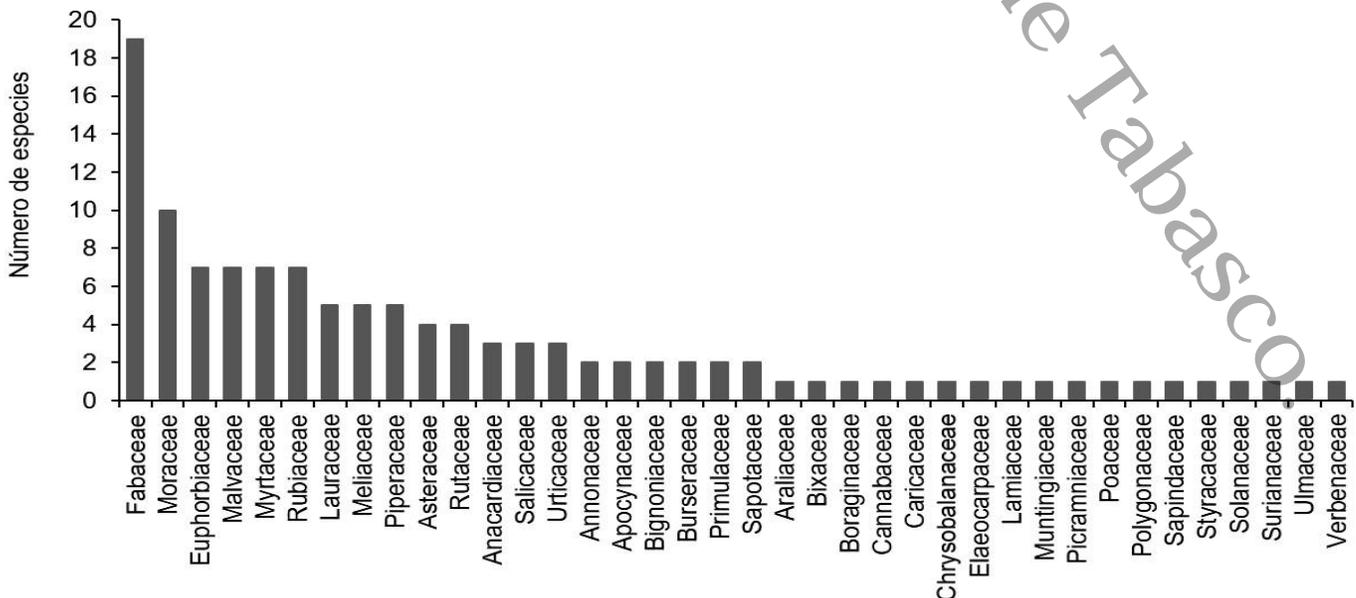
de la curva tuvo valores menores de 0.1, indicando que se logró un inventario altamente fiable (Jiménez-Valverde y Hortal, 2003). La similitud florística entre los sitios osciló entre 0.41 a 0.58 (Cophen. Corr.=0.79). Los sitios con mayor similitud fueron s3 y s4 (0.58), mientras que s1 y s2 mostraron la menor similitud florística (0.41) (Fig. 4).

**Cuadro 2:** Composición, diversidad y equitatividad de la vegetación ribereña en cinco sitios del río Tacotalpa, Tabasco, México. <sup>1</sup>D=Diversidad verdadera de orden 1; s1=Tapijulapa, s2=Arroyo Chispa, s3=Nuevo Madero, s4=Mexiquito y s5=Oxolotán; <sup>a</sup>=no existen diferencias estadísticas entre los cinco sitios.

Sitios	Individuos	Familias	Géneros	Especies	<sup>1</sup> D	Equitatividad
s1	774	25	45	54	8.15 <sup>a</sup>	82
s2	359	22	43	52	5.64 <sup>a</sup>	80
s3	512	27	54	65	8.38 <sup>a</sup>	82
s4	575	23	55	70	7.77 <sup>a</sup>	82
s5	369	28	55	69	8.00 <sup>a</sup>	87
Total	2589					

### Análisis estructural

Los datos de estructura vertical indican que en los sitios s1 y s3 estuvieron conformados por solo dos estratos de altura de árboles ribereños, bajo (0-10 m) y medio (10-20 m), mientras que en s2, s4 y s5 presentaron individuos en los tres estratos. 90.46% de árboles ribereños (2342) estuvo concentrado en el estrato inferior y 9.54% en los



**Figura 2:** Frecuencia de especies por familia botánica registrada en los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México.

estratos medio y alto (236 y 11) (Fig. 5). La estructura horizontal estuvo caracterizada por una mayor densidad de árboles en diámetros pequeños de hasta 10 cm (2321 individuos), representando el 89.65% del total de los individuos y 10.35% en las categorías restantes mayores de

10 cm (238). La mayoría de los sitios registraron individuos en todas las categorías, excepto en s1 que no presentó ningún individuo en la última categoría diamétrica (>30 cm) (Fig. 6).

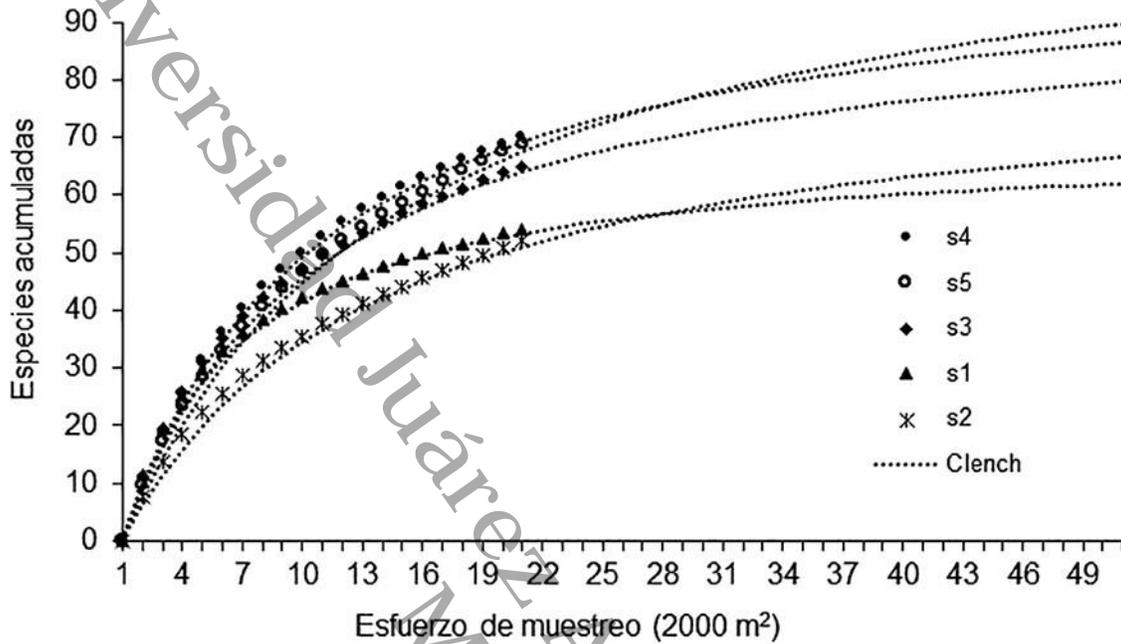
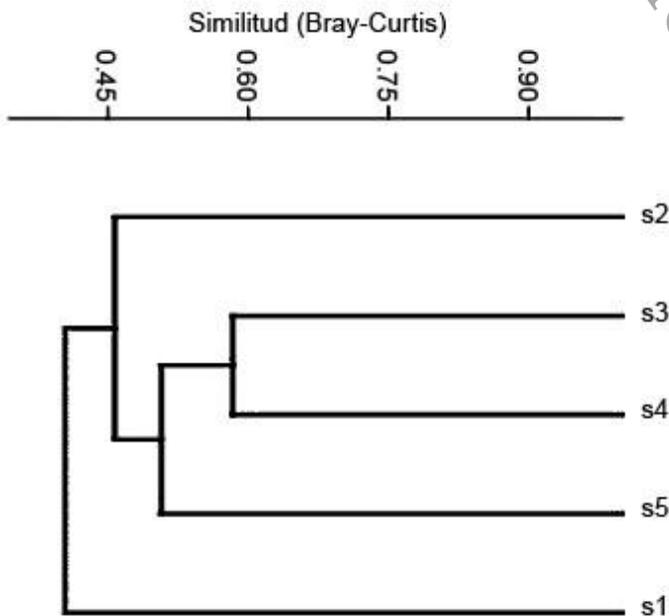


Figura 3: Curvas de acumulación de especies en los cinco sitios muestreados en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. Las líneas punteadas representan el modelo ajustado a la ecuación de Clench para cada sitio.



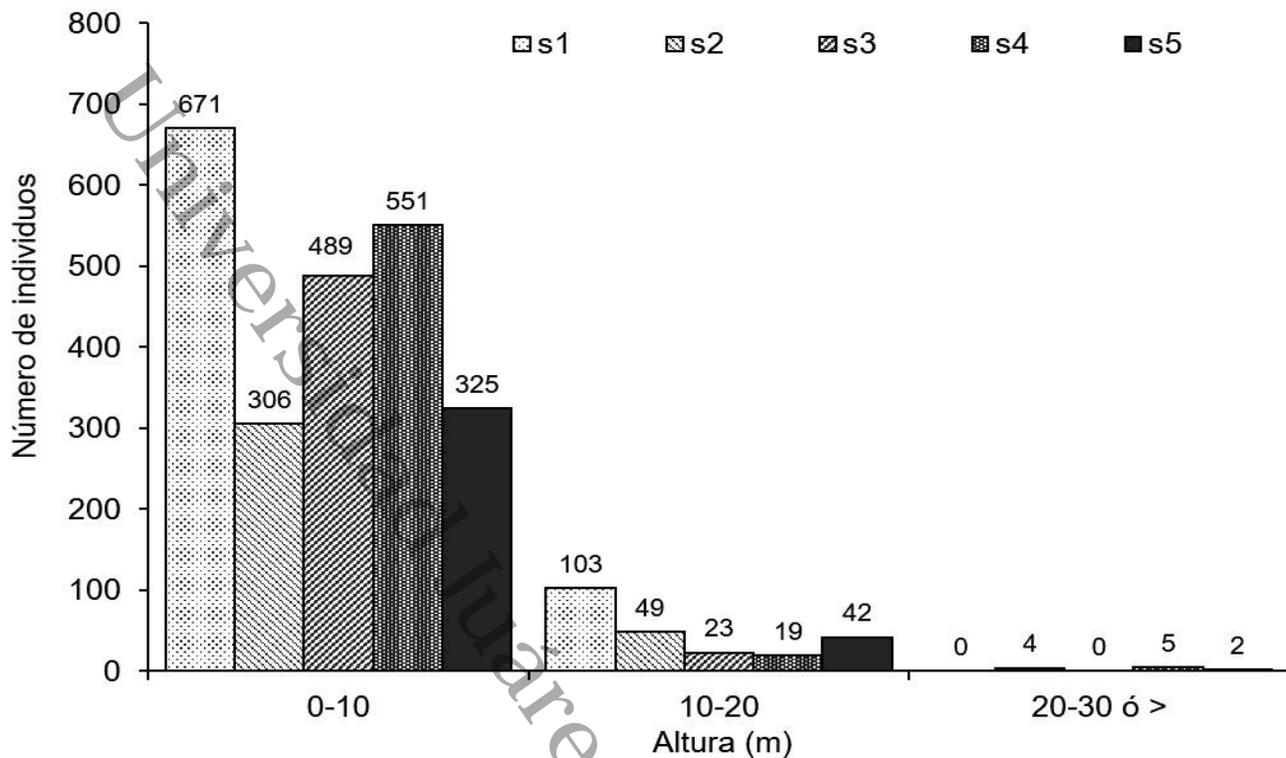
7B).

Figura 4: Dendrograma de similitud florística de los cinco sitios de muestreo con base en el método de Bray-Curtis.

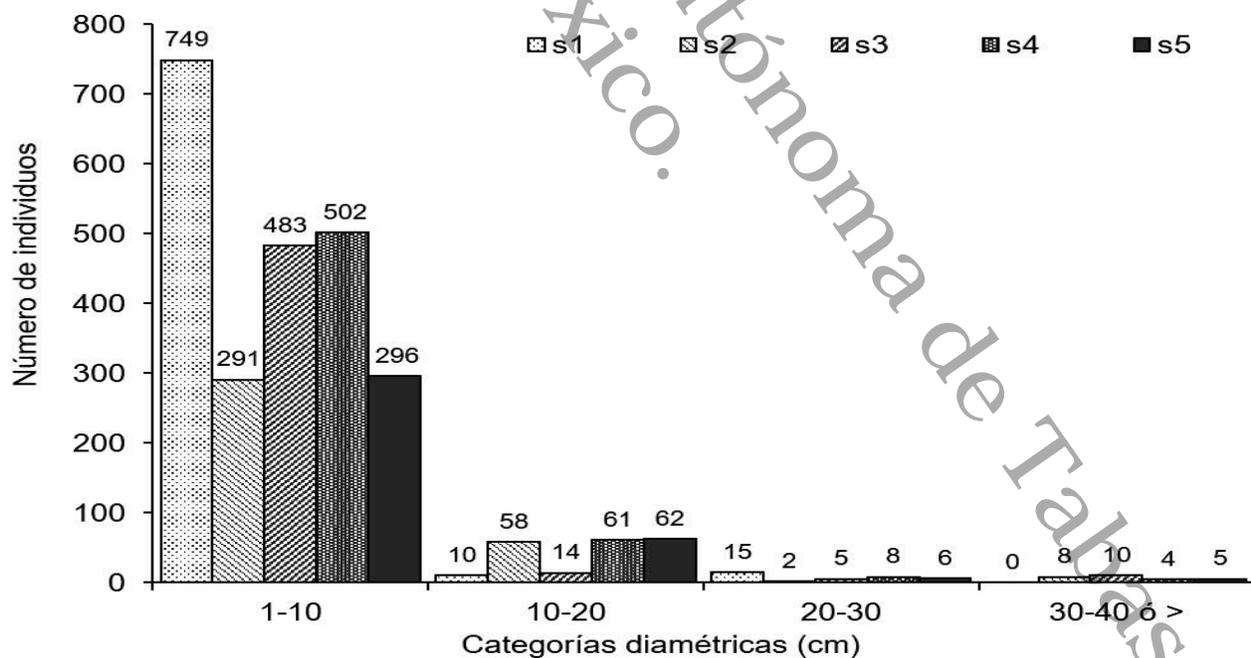
#### Atributos ecológicos

Los resultados del ANOVA indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre los sitios estudiados ( $p < 0.05$ ) para la diversidad  $^0D$ . El sitio s2 presentó los valores más bajos de  $^0D$ , siendo estadísticamente menor que los valores obtenidos en s1 y s3 (Tukey;  $p < 0.05$ ). La  $^0D$  para s4 y s5 presentó valores intermedios no siendo diferentes entre sí (Fig. 7A). Los valores de diversidad  $^1D$  no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre sitios ( $p > 0.05$ ).

Con respecto a los datos de densidad de árboles, el ANOVA indica diferencias estadísticamente significativas entre los sitios muestreados ( $p < 0.05$ ). El sitio s1 presentó el valor más alto, no siendo estadísticamente diferente del s4 (Tukey;  $p > 0.05$ ); sin embargo, los sitios s2, s3 y s5 tuvieron valores significativamente más bajos (Tukey;  $p < 0.05$ ). Fig.



**Figura 5:** Diagrama de la estructura vertical basado en la frecuencia de individuos de especies leñosas en los diferentes estratos de altura obtenidos para los sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. Los números sobre las barras representan el número de individuos por sitio.



**Figura 6:** Diagrama de la estructura horizontal basado en la frecuencia de individuos de especies leñosas en las diferentes clases diamétricas obtenidas para los sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. Los números sobre las barras representan el número de individuos por sitio.

Los valores promedios de DAP y altura mostraron patrones muy similares, existiendo diferencias estadísticas entre los sitios (ANOVA;  $p < 0.05$ ). Los contrastes *a posteriori* indican que el s2 presenta los valores más altos de estas dos variables, mientras que para s1 fueron significativamente más bajos (Tukey;  $p < 0.05$ . Figs. 7C, D).

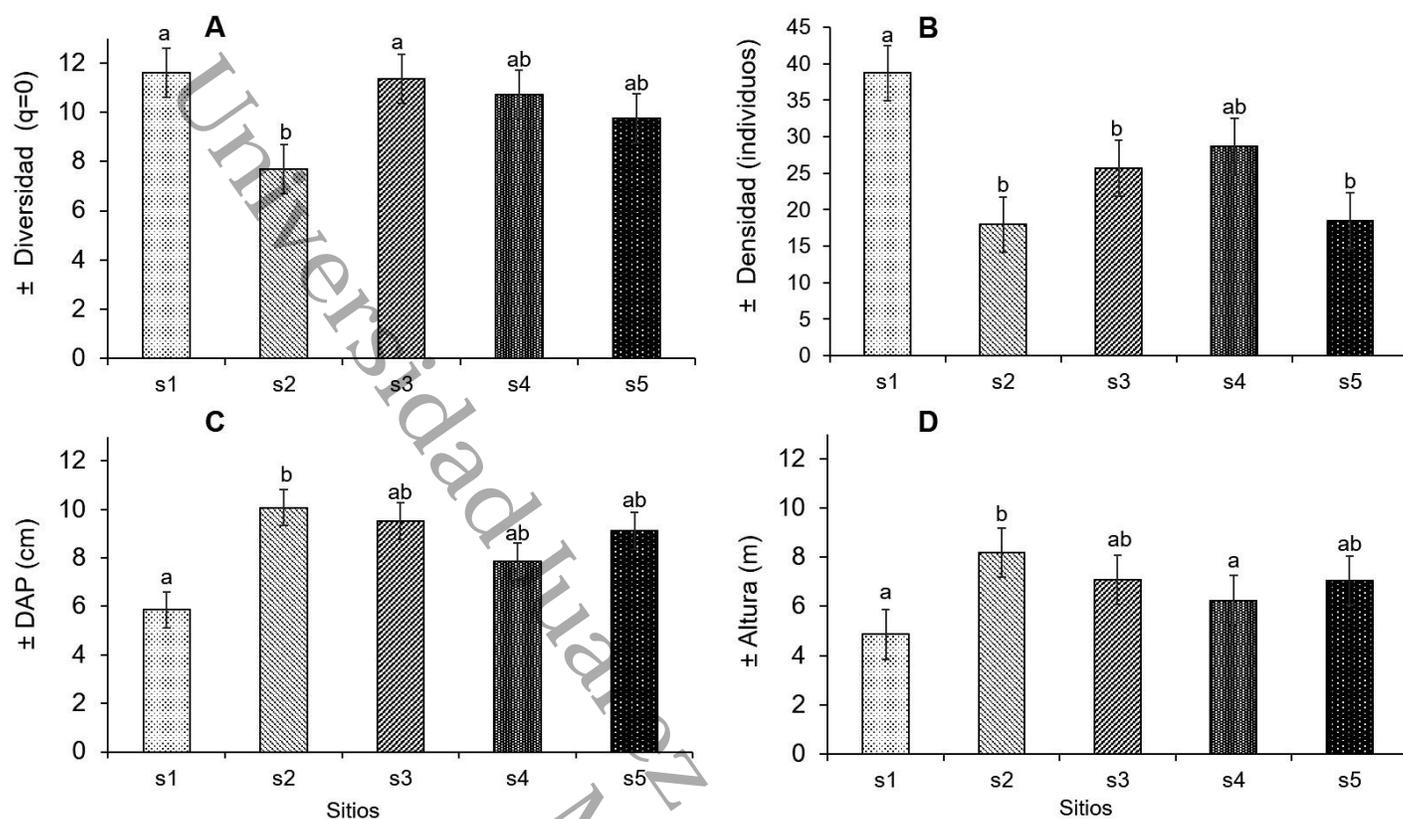
El análisis de correlación de Pearson muestra que la diversidad de especies de orden  ${}^0D$ , la riqueza de especies arbustivas y la densidad de árboles ribereños se asociaron positivamente con la distancia de las casas, la distancia a zonas urbanas y la distancia a las carreteras pavimentadas ( $p < 0.05$ ). Asimismo, la diversidad de especies de orden  ${}^1D$  y la riqueza de especies arbóreas registradas en los puntos de muestreo se correlacionaron de manera positiva con la distancia a la carretera pavimentada ( $p < 0.05$ ); mientras que la altura de los árboles ribereños se asoció positivamente con la distancia a la terracería ( $p < 0.05$ ) y negativamente con la distancia a las casas y la distancia a la carretera pavimentada (Cuadro 3).

En la figura 8 se muestra la disposición espacial de las unidades de muestreo sobre el plano definido de dos componentes principales, que en conjunto representan el 50% de la varianza total de los datos. La mayoría de las variables de vegetación y métricas del paisaje se

correlacionaron positivamente con el primer componente, mientras que la altura de los árboles ribereños de manera negativa. En el componente 2, las variables de altura de los árboles ribereños, especies arbóreas, especies arbustivas, diversidad  ${}^0D$ , diversidad  ${}^1D$ , densidad y la distancia de la terracería ( $D_{terr}$ ) se correlacionaron positivamente, mientras que el resto de las métricas del paisaje lo hicieron negativamente ( $D_{bos}$ ,  $D_{cul}$ ,  $D_{pas}$ ,  $D_{zur}$ ,  $D_{cas}$  y  $D_{carr}$ ).

## Discusión

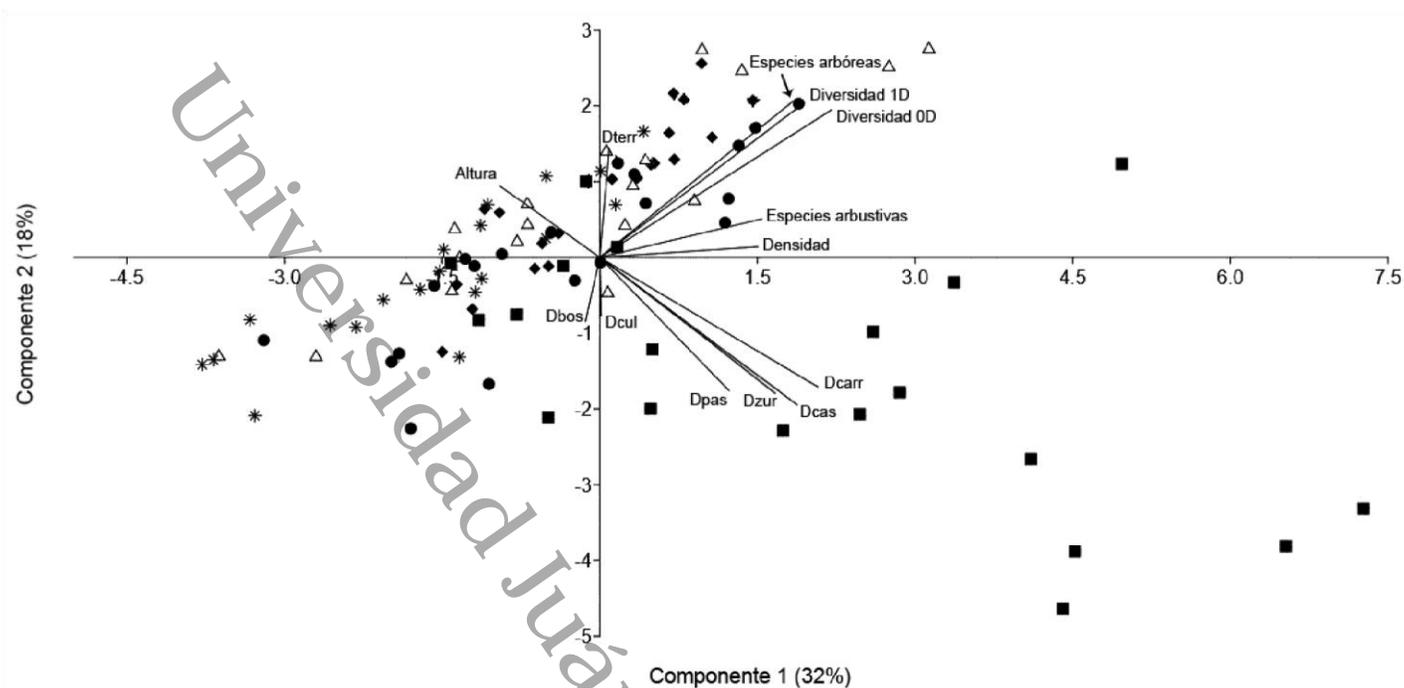
El valor de  ${}^0D$  (riqueza específica) del río Tacotalpa fue relativamente baja (119 especies en 1 ha) en comparación con el registro de Moreno-Jiménez et al. (2017) en un afluente ribereño de Tacotalpa (131 especies en 0.6 ha). Esto muestra que a escala local, la subcuenca del río Tacotalpa ha perdido parte de su riqueza de especies, provocado por las diferentes actividades humanas en áreas adyacentes de la ribera (Yang et al., 2011; Sunil et al., 2016). Esto concuerda con Meli et al. (2013) que también reportó una disminución de especies ribereñas en áreas perturbadas de la selva Lacandona, Chiapas. Las familias Fabaceae y Rubiaceae son consideradas dentro de las más representativas en bosques tropicales, coincidiendo con otros registros de la sierra tabasqueña (Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares, 2010; Zarco-Espinosa et al., 2010; Zamora-Crescencio et al., 2011; Moreno-Jiménez et al., 2017).



**Figura 7:** A. Valores promedio de diversidad del orden  $^0D$ ; B. densidad; C. diámetro a la altura del pecho; D. altura de individuos, en los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

**Cuadro 3:** Coeficiente de correlación de Pearson entre las variables de vegetación ribereña con las métricas del paisaje del río Tacotalpa, Tabasco, México. Dcas=Distancia de la casa más cercana, Dzur=Distancia del borde de la zona urbana más cercana, Dcul=Distancia del borde de cultivo más cercano, Dpas=Distancia del borde de pastizal más cercano, Dbos=Distancia del borde del remanente del bosque maduro más cercano, Dcarr=Distancia de la carretera pavimentada más cercana y Dterr=Distancia de la terracería más cercana. \* es significativa en el nivel 0.05; \*\* es significativa en el nivel 0.01.

Variables	Dcas	Dzur	Dcul	Dpas	Dbos	Dcarr	Dterr
Diversidad $^0D$	0.24*	0.25*	-0.10	0.14	-0.07	0.35**	0.10
	0.02	0.01	0.32	0.16	0.51	0.00	0.32
Diversidad $^1D$	0.15	0.17	-0.11	0.15	-0.10	0.29**	0.06
	0.14	0.09	0.30	0.15	0.30	0.00	0.57
Riqueza de especies arbustivas	0.22*	0.20*	0.03	0.15	0.14	0.31**	-0.04
	0.03	0.04	0.75	0.13	0.18	0.00	0.73
Riqueza de especies arbóreas	0.17	0.19	-0.14	0.09	-0.15	0.26*	0.14
	0.10	0.06	0.18	0.38	0.14	0.01	0.17
Densidad	0.30**	0.21*	0.01	0.14	-0.05	0.33**	0.05
	0.00	0.04	0.89	0.16	0.63	0.00	0.63
Altura	-0.27**	-0.16	-0.16	-0.16	0.03	-0.41**	0.24*
	0.01	0.12	0.12	0.12	0.75	0.00	0.01



**Figura 8:** Análisis de componentes principales de las variables de vegetación y métricas del paisaje en los cinco sitios de muestreo en los márgenes del río Tacotalpa, Tabasco, México. ■=unidades muestrales del sitio 1, \*=unidades muestrales del sitio 2, ◆=unidades muestrales del sitio 3, Δ=unidades muestrales del sitio 4, ●=unidades muestrales del sitio 5.

La similitud florística entre s3 y s4 se debió a la cercanía a un fragmento de vegetación original, lo que fortalece la conectividad de estos sitios, compartiendo un total de 46 especies. Esto coincide con lo que afirman otros estudios en relación a que dos sitios influenciados por el mismo remanente original puede mostrar mayor número de especies compartidas (Araujo et al., 2013; Moreno-Jiménez et al., 2017). La mayor disimilitud de especies fue entre s1 y s2 con 33 especies comunes. Esto puede atribuirse a la diferencia en la densidad absoluta de las especies (774 y 359), a las condiciones particulares del sitio y al número de especies introducidas (5 y 2) (Apéndice). Becerra (2006), Sirombra y Meza (2009) y Richardson y Rejmánek (2011) mencionan que la invasión de algunas especies exóticas puede originar cambios en la composición de comunidades vegetales, generando a su vez competencia y desplazamiento a las especies nativas. El registro de algunas especies introducidas (*Ricinus communis* L., *Tectona grandis* L. f. y *Guadua longifolia* (E. Fourn.) R. W. Pohl L. f.) en s1 y s5 es señal del efecto negativo que tienen las perturbaciones sobre la composición de las especies vegetales. Sin embargo, Mander et al. (2005) mencionan que la densidad de estas

especies podrían cumplir un papel importante en un ecosistema ribereño fragmentado, es decir a mayor densidad de árboles ribereños ya sea nativos o introducidos pueden retener los sedimentos hacia los sistemas acuáticos, protegiendo el hábitat de los organismos acuáticos.

La mayor concentración de individuos en el estrato bajo y diámetros menores, coincide con los registros de Vásquez-Negrín et al. (2011) y Moreno-Jiménez et al. (2017) como indicadores de perturbación. En s1 se demostró este comportamiento, al no registrar individuos en las últimas categorías de altura y diámetro (Figs. 5, 6). Las especies que aportaron mayor densidad en el estrato bajo fueron *Pleuranthodendron lindenii* (Turcz.) Sleumer, *Lonchocarpus hondurensis*, *Hampea nutricia* Fryxell, *Bursera simaruba* (L.) Sarg., *Acacia cornigera* (L.) Willd., *Myrcia* sp., *Lonchocarpus* sp. 2, *Salix humboldtiana* Willd. y *Vatairea lundellii* (Standl.) Killip. La densidad de estas especies indica que están adaptadas a ambientes abiertos generados por disturbios humanos (Thompson et al., 2002; Zamora y Crescencio et al., 2011), son especies que aprovechan los claros y la entrada de luz generados por las perturbaciones humanas para establecerse (Martínez y

Orth, 2007; Richardson y Rejmánek, 2011) y se adaptan mejor en las condiciones del sitio (Acosta et al., 2008). Steinbauer et al. (2017) mencionan que la densidad de los árboles ribereños de bajo porte y de menor diámetro también son señales de las perturbaciones. Por otro lado, las especies con alturas mayores de 25 m fueron *Ceiba pentandra* (L.) Gaerth., *Pterocarpus rohrii* Vahl, *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch. Es probable que sean especies de vegetación original que permanecieron después de un proceso de fragmentación (Guevara et al., 2005).

Las especies que dominaron por su mayor diámetro fueron *Ficus yoponensis* Desv., *Cordia alliodora*, *Ceiba pentandra*, *Pterocarpus rohrii*, *Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. Moore & Stearn, *Licania platypus* y *Cedrela odorata* L. Meli et al. (2014) y Moreno-Jiménez et al. (2017) coinciden que *Pterocarpus rohrii* está dentro de las especies con mayor diámetro. Estas especies indican que los sitios de estudio aún guardan remanentes de vegetación original de selva alta perennifolia (Pennington y Sarukhán, 2005) y que pueden tener un papel importante en la recuperación de ecosistemas ribereños (Sánchez et al., 2005) y en el mantenimiento de la biodiversidad local. Esto coincide con Melo et al. (2013), que mencionan que los parches de bosques secundarios podrían no solo ser habitados eventualmente por especies dependientes de los bosques, sino también conservar gran parte de la diversidad vegetal a escala local. Por tal motivo, se puede considerar que estas especies arbóreas, al ser combinadas con algunas especies arbustivas (como *Mircya* sp.) fortalecerían la conectividad y recuperación de los ecosistemas ribereños en sitios con mayor nivel de perturbación (s2).

Las diferencias significativas de diversidad de orden  $^{\circ}D$  pueden deberse a los diferentes grados de perturbación que presentaron los cinco sitios. Esto sugiere que la vegetación ribereña del río Tacotalpa se encuentra en diferentes grados de perturbación y de sucesión ecológica (Zarco-Espinosa et al., 2010). Además, la presión por el aprovechamiento de leña, agricultura y ganadería en el corredor ribereño puede modificar la estructura y composición de las especies (Sánchez et al., 2005), así como detener o desviar la sucesión de los bosques (Sodhi et al., 2011). El sitio 2 ejemplifica este patrón al

considerarse como el más perturbado en términos de composición y diversidad (22 familias, 43 géneros y 52 especies), mientras que los sitios 4 y 5 como los más conservados (Cuadro 2). La similitud de diversidad de orden  $^1D$  se debe a que los sitios obtuvieron una equitatividad mayor de 80%, donde la densidad de algunas especies tiende a equilibrar el índice de diversidad (Jost 2006; Moreno et al., 2011). Esto coincide con el estudio de Moreno-Jiménez et al. (2017) que señala que con un porcentaje mayor a 80%, la población de las especies tiende a ser más equilibrada.

El análisis de correlación de Pearson demostró que la diversidad  $^{\circ}D$ , las especies del estrato arbustivo y la densidad de los árboles tienden a aumentar positivamente con el incremento de las distancias de las casas, carreteras pavimentadas y el borde de las zonas urbanas ( $p < 0.05$ ), es decir, conforme aumenta la distancia de estas métricas del paisaje, la diversidad y la densidad de los árboles ribereños son mayores. La otra relación positiva importante fue entre la altura de los árboles ribereños y la distancia de la terracería, es decir, la altura aumenta al incrementar la distancia de las terracerías, lo cual es una señal de que estas vías de comunicación pueden ser factor para la extracción de árboles altos para leña y construcción de casas, incluyendo el acceso fácil para el establecimiento de cultivos temporales en áreas ribereñas. Esto coincide con otros estudios donde se ha demostrado que las actividades agropecuarias y la urbanización influyen en la estructura y diversidad de árboles ribereños (Apan et al., 2002; Burton et al., 2005, 2009; Pennington et al., 2010; Dummel y Pinazo, 2013). El ACP confirma la interacción que tienen las métricas del paisaje sobre la diversidad y estructura de la vegetación ribereña en el sureste de México; siendo el s2 como el más perturbado, mientras que los sitios 3, 4 y 5 tienden a mejorar su riqueza y diversidad, ya que se encuentran más alejados de las infraestructuras (Fig. 8). Este primer análisis puede servir de base para monitorear la recuperación y fragmentación de los ecosistemas ribereños del sureste de México.

## Conclusión

Las diferencias significativas de la diversidad verdadera  $^0D$ , la densidad, el DAP y la altura de árboles ribereños entre

algunos sitios indican que el río Tacotalpa está sujeto a diferentes niveles de perturbación, provocando variación en sus atributos ecológicos. La construcción de infraestructuras cercanas en los corredores ribereños (casas, carreteras pavimentadas y terracerías) están influyendo en la diversidad y estructura de la vegetación ribereña, lo cual puede repercutir en el futuro de estos ecosistemas y puede aumentar la vulnerabilidad de las poblaciones humanas que están cerca de las áreas ribereñas. Por lo tanto, se recomienda evitar la construcción de asentamientos humanos en los primeros 10 m en las márgenes del río (según la Ley de Aguas Nacionales como zona federal). En sitios con mayor nivel de perturbación se sugiere que las especies como: *Pleuranthodendron lindenii*, *Lonchocarpus hondurensis*, *Hampea nutricia*, *Bursera simaruba*, *Acacia cornigera*, *Myrcia* sp., *Lonchocarpus* sp.2, *Salix humboldtiana* y *Vatairea lundellii* puedan ser consideradas dentro de los programas de restauración, debido a que demostraron buen nivel de reclutamiento en las primeras etapas de sucesión de los bosques ribereños. Asimismo, se recomienda la combinación de algunas especies arbustivas con especies arbóreas de vegetación original en forma de nucleación (pequeñas islas de especies combinadas a lo largo del corredor ribereño).

## Contribución de autores

VMJ diseñó el estudio, redactó la versión inicial y final del manuscrito y analizó los datos. LGC ayudó a consolidar y corregir las ideas principales del estudio. ARG apoyó en el trabajo de campo. WMCS aportó sugerencias e interpretación en los análisis estadísticos. SOG, NCJP y EEMZ realizaron aportaciones importantes y comentarios críticos requeridos para la redacción al documento final. Todos los autores aprobaron el manuscrito final.

## Financiamiento

Este estudio fue apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en forma de beca otorgada al primer autor de este artículo bajo el número 436036.

## Agradecimientos

A la SERNAPAM (Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental) por permitirnos hospedarnos durante el muestreo en la Estación Biológica La Florida, Tacotalpa, Tabasco. A Miguel, José, Eleuterio, Héctor y a todos los propietarios colindantes del río Tacotalpa que facilitaron el acceso a los sitios de muestreo.

## Literatura citada

- 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.
- Apan, A. A., S. R. Raine y M. S. Paterson. 2002. Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley catchment, Queensland, Australia. *Landscape and Urban Planning* 59(1): 43-57. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00246-8](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00246-8)
- Araujo, C. E., D. Closset-Kopp, E. Gallet-Moron, J. Lenoir, M. Rêve, M. Hermy y G. Decocq. 2013. Streams are efficient corridors for plants species in forest metacommunities. *Journal of Applied Ecology* 50(5): 1152-1160. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12132>
- Arthington, A. H., R. J. Naiman, M. E. McClain y C. Nilsson. 2010. Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: new challenges and research opportunities. *Freshwater Biology* 55(1): 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02340.x>
- Becerra, P. I. 2006. Invasión de árboles alóctonos en una cuenca pre-andina de Chile central. *Gayana Botánica* 63(2): 161-174. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-66432006000200003>
- Burton, M. L., L. J. Samuelson y S. Pan. 2005. Riparian woody plant diversity and forest structure along an urban-rural gradient. *Urban Ecosystems* 8(1): 93-106. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11252-005-1424-6>
- Burton, M. L., L. J. Samuelson y M. D. Mackenzie. 2009. Riparian woody plant traits across an urban-rural land use gradient and implications for watershed function urbanization. *Landscape and Urban Planning* 90(1-2): 42-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.005>

- Bray, J. R. y J. T. Curtis. 1957. An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecological Monographs* 27(4): 325-349. DOI: <https://doi.org/10.2307/1942268>
- Castañeda, M. B., A. F. Cabrera, Y. Navarro y W. de Vries. 2010. Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS: un libro práctico para investigadores y administradores educativos. EDICPUCRS. Porto Alegre, Brasil. 164 pp.
- Colwell, R. K. 2013. Statistical estimation of species richness and shared species from samples. User's guide. <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/Links.htm> (consultado diciembre de 2017).
- Dummel, C. J. y M. Pinazo. 2013. Efecto de variables de paisaje y de rodal sobre la diversidad de especies arbóreas en el sotobosque de plantaciones de *Pinus taeda* en la provincia de Misiones, Argentina. *BOSQUE* 34(3): 331-342. DOI: <https://doi.org/10.4067/s0717-92002013000300009>
- ESRI. 2018. ArcGIS®, versión 10.0. Environmental Systems Research Institute. Redlands, USA. [www.esri.com](http://www.esri.com)
- Espinoza-Jiménez, J. A., A. López-Cruz, M. A. Pérez-Farrera y S. López. 2014. Inventario florístico de la Cañada La Chacona Juan Crispín y zonas adyacentes, depresión central de Chiapas, México. *Botanical Sciences* 92(2): 205-241. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.30>
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie de libros. 5ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 90 pp.
- García, G. A. 2011. La cuenca hidrográfica transfronteriza Grijalva: la danza de politics-policy y el mapeo institucional en México y Guatemala. *Aqua-LAC* 3(2): 127-140.
- García, L. y J. Vollmann. 2012. Caracterización de suelos a lo largo de un gradiente altitudinal en Ecuador. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 7(3): 456-464. DOI: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1736>
- Garrido, P. A., M. L. Cuevas, H. Cotler, D. González y R. Tharme. 2010. Evaluación del grado de alteración ec hidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación Ambiental* 2(1): 25-46.
- Gómez-Domínguez, E., M. A. P. Farrera, J. A. E. Jiménez y M. I. M. Reynoso. 2015. Listado florístico del Parque Nacional Palenque, Chiapas, México. *Botanical Sciences* 93(3): 559-578. DOI: <http://dx.doi.org/10.17129/botsci.151>
- Granados-Sánchez, D., M. Á. Hernández-García y G. F. López-Ríos. 2006. Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 12(1): 55-69.
- Guevara, S., J. Laborde y G. Sanchez-Ríos. 2005. Los árboles que la selva dejó atrás. *Interciencia* 30(10): 595-601.
- Gutiérrez, B. C. 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. <https://folk.uio.no/ohammer/past/pastmanual.pdf> (consultado noviembre de 2017).
- INEGI, 2000. Cuaderno estadístico municipal de Tacotalpa, Tabasco. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Villahermosa, Tabasco, México. 163 pp.
- Jiménez-Valverde, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8(31): 151-161.
- Jost, L. 2006. Entropy and diversity. *Oikos* 113(2): 363-375. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2006.0030-1299.14714.x>
- Jost, L. y J. A. González-Oreja. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana* 56(1-2): 3-14.
- Lira-Noriega, A., S. Guevara, J. Laborde y G. Sánchez-Ríos. 2007. Composición florística en potreros de los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta Botanica Mexicana* 80: 59-87. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm80.2007.1047>
- Magurran, A. E. y B. J. McGill. 2011. *Biological diversity: Frontiers in measurement and assessment* in Oxford University Press. Oxford, UK. 332 pp.
- Maldonado-Sánchez, E. A. y F. Maldonado-Mares. 2010. Estructura y diversidad arbórea de una selva alta perennifolia en Tacotalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 26(3): 235-245.
- Mander, U., Y. Hayakawa y V. Kuusemets. 2005. Purification processes, ecological functions, planning and design of riparian buffer zones in agricultural watersheds. *Ecological Engineering* 24(5): 421-432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.01.015>

- Martínez, R. M. y X. G. Orth. 2007. Sucesión ecológica y restauración de las selvas húmedas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80: 69-84. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.1758>
- Meli, P., M. Martínez-Ramos y J. M. Rey-Benayas. 2013. Selecting species for passive and active riparian restoration in southern Mexico. *Restoration Ecology* 21(2): 163-165. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00934.x>
- Meli, P., M. Martínez-Ramos, J. M. Rey-Benayas y J. Carabias. 2014. Combining ecological, social and technical criteria to select species for forest restoration. *Applied Vegetation Science* 17(4): 744-753. DOI: <https://doi.org/10.1111/avsc.12096>
- Meli, P., L. Ruiz, R. Aguilar, A. Rabasa, J. M. Rey-Benayas 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. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311118>
- Melo, F. P. L., V. Arroyo-Rodríguez, L. Fahrig, M. Martínez-Ramos y M. Tabarelli. 2013. On the hope for biodiversity-friendly tropical landscapes. *Trends in Ecology and Evolution* 28(8): 462-468. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.01.001>
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. *Millennium Ecosystem and human well-being: Synthesis Report*. Island Press. Washington, DC., USA. 137 pp. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf> (consultado diciembre de 2017).
- Moreno, C. E. y G. Halffter. 2001. On the measure of sampling effort used in species accumulation curves. *Journal of Applied Ecology* 38(2): 487-490. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00590.x>
- Moreno, C. E., F. Barragán, E. Pineda y N. P. Pavón. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82(4): 1249-1261.
- Moreno-Jiménez, V., O. Castillo-Acosta, L. Gama-Campillo, J. Zavala-Cruz y M. A. Ortiz-Pérez. 2017. Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tacotalpa, Tabasco, México. *Madera y Bosques* 23(1): 91-109. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.231510>
- Mostacedo, B. y T. S. Fredericksen. 2000. *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. BOLFOR. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 87 pp.
- Naiman, R. J., R. E. Bilby y P. A. Bisson. 2000. Riparian ecology and management in the pacific coastal rain forest. *BioScience* 50(11): 996-1011. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0996:REAMIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0996:REAMIT]2.0.CO;2)
- Nilsson, C. y B. M. Renöfält. 2008. Linking flow regime and water quality in rivers: a challenger to adaptative catchment management. *Ecology and Society* 13(2): 18. DOI: <https://doi.org/10.5751/es-02588-130218>
- Ortiz-Pérez, M. A., C. Slebe y S. Cram. 2005. Diferenciación Ecogeográfica de Tabasco. In: Bueno J., F. Á. y S. Santiago (eds.). *Biodiversidad del Estado de Tabasco*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México. Pp. 305-322.
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2005. *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies*. 3ª ed. Fondo de Cultura Económica, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., México. 523 pp.
- Pennington, D. C., J. R. Hansel y D. L. Gorchoy. 2010. Urbanization and riparian forest woody communities: diversity, composition, and structure within a metropolitan landscape. *Biological Conservation* 143(1): 182-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.10.002>
- Pérez, L. A., S. M. Sousa, A. M. Hanan, F. Chiang y P. Tenorio. 2005. Vegetación Terrestre. In: Bueno J., F. Álvarez y S. Santiago (eds.). *Biodiversidad del estado de Tabasco*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México. Pp. 65-110.
- Ramírez, A. y P. E. Gutiérrez-Fonseca. 2016. Sobre ensambles y ensamblajes ecológicos respuesta a Monje-Nájera. *Revista de Biología Tropical* 64(2): 817-819. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i2>
- Ramírez, C., V. Sandoval, C. San Martín, M. Álvarez, Y. Pérez y C. Novoa. 2012. El paisaje rural antropogénico de Aisén, Chile: estructura y dinámica de la vegetación. *Gayana Botánica* 69(2): 219-231. DOI: <https://doi.org/10.4067/s071766432012000200001>

- Richardson, D. M. y M. Rejmánek. 2011. Trees and shrubs as invasive alien species-a global review. *Diversity and Distributions* 17(5): 788-809. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00782.x>
- Sánchez, M. D., C. A. Harvey, A. Grijalva, A. Medina, S. Vílchez y B. Hernández. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agropaisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Revista de Biología Tropical* 53(3-4): 387-414. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v53i3-4.14601>
- SGM. 2005. Carta Geológico-Minera Villahermosa E15-8 Tabasco, Veracruz, Chiapas y Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano. Pachuca, México. [http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/geologia/106\\_E15-8\\_GM.pdf](http://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/106_E15-8_GM.pdf) (consultado noviembre de 2017).
- Sirombra, M. y L. M. Mesa. 2009. Composición florística y distribución de los bosques ribereños subtropicales andinos del Río Lules, Tucumán, Argentina. *Revista de Biología Tropical* 58(1): 499-510. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v58i1.5224>
- Sodhi, N. S., R. Butler, W. F. Laurance y L. Gibson. 2011. Conservation successes at micro-, meso- and macroscales. *Trends in Ecology and Evolution* 26(11): 585-594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.07.002>
- Steinbauer, M. J., M. B. Uddin, A. Jentsch y C. Beierkuhnlein. 2017. Drivers for plant species diversity in a characteristic tropical forest landscape in Bangladesh. *Landscape Research* 42(1): 89-105. DOI: <https://doi.org/10.1080/01426397.2016.1252038>
- Sunil, C., R. K. Somashekar y B. C. Nagaraja. 2010. Riparian vegetation assessment of Cauvery River basin of South India. *Environment Monitoring and Assessment* 170(1-4): 545-553. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1256-3>
- Sunil, C., R. K. Somashekar y B. C. Nagaraja. 2016. Diversity and composition of riparian vegetation across forest and agroecosystem landscapes of river Cauvery, southern India. *Tropical Ecology* 57(2): 343-254.
- TPL. 2013. The Plant List, a working list of all plants species, Version 1.1. <http://www.theplantlist.org/> (consultado junio de 2018).
- Thompson, J., N. Brokaw, J. K. Zimmerman, R. B. Waide, E. M. Everham III, D. J. Lodge, C. M. Taylor, D. García-Montiel y M. Fluet. 2002. Land use history, environment, and tree composition in a tropical forest. *Ecological Applications* 12(5): 1344-1363. DOI: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[1344:LUHEAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[1344:LUHEAT]2.0.CO;2)
- Vásquez, G., J. G. García Franco, G. Castillo, F. Escobar, A. Guillén, M. L. Martínez, K. Mehlreter, R. Novelo, E. Pineda, V. Sosa, C. Valdespino, A. Campos C., R. Landgrave, E. Montes de Oca, A. Ramírez y J. Galindo. 2015. Ecosistemas ribereños: un paisaje fragmentado. *Biodiversitas* 119: 7-11.
- Vázquez-Negrín, I., O. Castillo-Acosta, J. I. Valdez-Hernández, Zavala-Cruz J. y J. L. Martínez-Sánchez. 2011. Estructura y composición florística de la selva alta perennifolia en el Ejido Niños Héroe Tenosique, Tabasco, México. *Polibotánica* 32: 41-61.
- Wendt, T. y E. J. Lott. 1985. A new simple leaved species of *Recchia* (Simaroubaceae) from southeastern Mexico. *Brittonia* 37(2): 219-225. DOI: <https://doi.org/10.2307/2806115>
- Willot, S. J. 2001. Species accumulation curves and the measure of sampling effort. *Journal of Applied Ecology* 38(2): 484-486. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00589.x>
- World Conservation Monitoring Centre. 1998. *Recchia simplicifolia*. The IUCN Red List of Threatened Species 1998: e.T31854A9665252. DOI: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T31854A9665252.en>
- Yang, J., T. E. Dilts, L. A. Condon, P. L. Turner y P. J. Weisberg. 2011. Longitudinal and transverse scale environmental influences on riparian vegetation across multiple levels of ecological organization. *Landscape Ecology* 26(3): 381-395. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-010-9565-z>
- Yoshida, K. y S. Oka. 2004. Invasion of *Leucaena leucocephala* and its effects on the native plant community in the Ogasawara (Bonin) Islands. *BioOne* 18(1): 1371-1375. DOI: [https://doi.org/10.1614/0890-037X\(2004\)018\[1371:IOLLAI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0890-037X(2004)018[1371:IOLLAI]2.0.CO;2)
- Zamora-Crescencio, P., M. R. Domínguez-Carrasco, P. Villegas, C. Gutierrez-Báez, L. A. Manzanero-Acevedo, J. J. Ortega-Haas, S. Hernández-Mundo, E. C. Puc-Garrido y R. Púch-Chávez. 2011. Composición florística y estructura de la vegetación secundaria en el norte del estado de Campeche, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 89: 27-35. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsoci.368>

- Zarco-Espinoza, V. M., J. I. Valdez-Hernández, G. Ángeles-Pérez y O. Castillo-Acosta. 2010. Estructura y composición de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26(1): 1-17.
- Zavala-Cruz, J., D. J. Palma-López, C. R. F. Cabrera, A. L. Castañeda y E. S. Torres. 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. 90 pp.
- Zavala-Cruz, J., R. Jiménez-Ramírez, D. J. Palma-López, F. Bautista-Zuñiga y F. Gavi-Reyes. 2016. Paisajes geomorfológicos: base para el levantamiento de suelos en Tabasco, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(8): 161-171.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

**Apéndice:** Listado florístico de la vegetación ribereña en cinco sitios de muestreo del río Tacotalpa, Tabasco, México. \* Especies introducidas. \*\* Especies nativas no propias de la comunidad vegetal.

Familia/Especie	Nombre común	Número de individuos				
		s1	s2	s3	s4	s5
<b>Anacardiaceae</b>						
<i>Mangifera sp</i>	mango *	0	0	1	1	0
<i>Mosquitoxylum jamaicense</i> Krug & Urb.	pajul té	0	1	0	0	0
<i>Spondias mombin</i> L.	jobo	4	4	3	17	5
<b>Annonaceae</b>						
<i>Rollinia mucosa</i> (Jacq.) Baill.	anona	1	1	0	2	1
<i>Annona purpurea</i> Moc. & Sessé ex Dunal	Chincuya **	0	0	0	1	0
<b>Apocynaceae</b>						
<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i> Rose ex J.D.Sm.	lecherillo	5	0	0	0	1
<i>Thevetia ahouai</i> (L.) A.DC.	bola de perro	0	0	2	0	0
<b>Araliaceae</b>						
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	palo blanco	9	0	17	11	10
<b>Asteraceae</b>						
<i>Critonia hospitalis</i> (B.L.Rob.) R.M.King & H.Rob.	tallo negro al raspar	0	0	0	0	1
<i>Critonia morifolia</i> (Mill.) R.M.King & H.Hob.	palo de agua verde	2	0	3	1	1
<i>Podochaenium eminens</i> (Lag.) Sch.Bip. Ex Sch.Bip.	parecido hoja chaya	1	0	0	0	0
<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H.Rob.	malacate blanca	8	4	0	2	0
<b>Bignoniaceae</b>						
<i>Amphitecna macrophylla</i> (Seem.) Miers ex Baill.	jicara de montaña	0	0	0	0	1
<i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) Bertero ex A.DC.	macuilís	0	1	0	0	0
<b>Bixaceae</b>						
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	pochote	0	1	0	0	0
<b>Boraginaceae</b>						
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	bojón	5	1	1	1	1
<b>Burseraceae</b>						
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	palo mulato	35	9	27	47	23
<i>Protium sp.</i>	desconocido	0	0	4	0	4
<b>Cannabaceae</b>						
<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	capulín	0	0	0	0	2
<b>Caricaceae</b>						
<i>Carica papaya</i> L.	papaya silvestre	3	0	0	0	3
<b>Chrysobalanaceae</b>						
<i>Licania platypus</i> (Hemsl.) Fritsch	cabeza de mico	0	0	0	1	0
<b>Euphorbiaceae</b>						
<i>Acalypha diversifolia</i> Jacq.	azota caballo	0	0	0	4	0
<i>Acalypha macrostachya</i> Jacq.	chamarro	0	0	0	14	15
<i>Acalypha sp.</i>	chamarro	0	0	3	0	0
<i>Alchornea latifolia</i> Sw.	mecapal	1	0	1	0	0
<i>Cnidocolus multilobus</i> (Pax) I.M.Johnst.	chaya pica	0	0	0	1	0
<i>Croton billbergianus</i> Müll. Arg.	popiste de montaña	0	0	6	0	0
<i>Ricinus communis</i> L.	higuera *	0	0	0	5	0
<b>Elaeocarpaceae.</b>						
<i>Sloanea tuerckheimii</i> Donn. Sm.	peciolo largo	0	0	1	0	0
<b>Fabaceae</b>						
<i>Acacia collinsii</i> Saff.	cornesuelo de montaña	13	5	4	10	0
<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd.	cornesuelo común	9	51	6	9	17

Familia/Especie	Nombre común	Número de individuos				
		s1	s2	s3	s4	s5
<i>Acosmium panamense</i> (Benth.) Yakovlev	ramitas rojas	0	0	0	3	3
<i>Calliandra houstoniana</i> (Mill.) Standl.	charamusco	17	0	2	5	1
<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton & Rose	frijolillo	0	1	18	19	17
<i>Diphysa americana</i> (Mill.) M. Sousa	chipilcohite	0	0	1	0	0
<i>Erythrina folkersii</i> Krukoff & Moldenke	madre chontal	0	3	1	0	2
<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Walp.	cocohite	6	0	1	5	1
<i>Inga vera</i> Willd.	chelele	20	12	10	14	6
<i>Inga</i> sp.	chelelito	0	5	0	2	0
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	guaje	2	0	0	1	0
<i>Lonchocarpus hondurensis</i> Benth.	gusano	69	61	61	69	10
<i>Lonchocarpus</i> sp 1	amargoso	0	0	54	26	31
<i>Lonchocarpus</i> sp. 2	xihin-té	0	0	0	1	0
<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl	palo sangre	0	2	0	0	1
<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F.Blake	guanacaste, cuchilal	2	2	0	0	1
<i>Senna papillosa</i> (Britton & Rose) H.S. Irwin & Ba	quelite	10	10	5	2	3
<i>Swartzia</i> sp.	fruto en forma de chile	0	0	0	2	0
<i>Vatairea lundellii</i> (Standl.) Record	tinco	0	6	11	11	26
<b>Lamiaceae</b>						
<i>Tectona grandis</i> L.f.	teca *	3	0	0	0	0
<b>Lauraceae</b>						
<i>Nectandra reticulata</i> Mez	aguacatillo, on té	0	1	2	1	0
<i>Nectandra sanguinea</i> Rol. ex Rottb.	laurel hojas rojas	0	0	0	0	2
<i>Nectandra</i> sp.	laurelillo	2	2	6	1	1
<i>Persea americana</i> Mill.	aguacate	1	0	0	0	2
<i>Persea schiedeana</i> Nees	chinin	0	0	0	0	1
<b>Malvaceae</b>						
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth.	ceiba	0	1	0	1	5
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	guácimo	19	1	11	6	2
<i>Hampea nutricia</i> Fryxell	majagua, jonote blanco	42	2	1	2	7
<i>Heliocarpus</i> sp	jonote	0	0	0	2	0
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	bellota	1	2	0	1	0
<i>Theobroma cacao</i> L.	cacao **	0	0	0	1	0
<i>Trichospermum mexicanum</i> (DC.) Baill.	corcho, algodoncillo	3	1	0	0	0
<b>Meliaceae</b>						
<i>Cedrela odorata</i> L.	cedro	7	10	1	2	3
<i>Guarea glabra</i> Vahl	carbonero	13	0	2	22	1
<i>Guarea</i> sp 2	carbonero	0	20	9	4	2
<i>Swietenia macrophylla</i> King	caoba	0	0	0	0	7
<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	coshigue	59	18	21	21	23
<b>Moraceae</b>						
<i>Artocarpus camansi</i> Blanco	castaña *	0	0	0	0	3
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	ramon	0	0	6	3	3
<i>Brosimum</i> sp.	hosh rojo	0	0	0	1	2
<i>Castilla elastica</i> Cerv.	hule	1	4	3	2	4
<i>Ficus insipida</i> Willd.	amatillo	17	10	6	6	6
<i>Ficus yoponensis</i> Desv.	amate	15	5	10	3	5
<i>Ficus</i> sp 1	matapalo	0	1	0	0	0
<i>Ficus</i> sp 2	estípula larga	0	0	1	1	1
<i>Poulsenia armata</i> (Miq.) Standl.	carne de pescado	0	5	6	0	1

Familia/Especie	Nombre común	Número de individuos				
		s1	s2	s3	s4	s5
<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	ramoncillo	0	0	1	2	0
<b>Muntingiaceae</b>						
<i>Muntingia calabura</i> L.	capulín	20	6	2	0	0
<b>Myrtaceae</b>						
<i>Eugenia rhombea</i> (O.Berg) Krug & Urb.	desconocido	0	0	6	1	1
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	desconocido	0	12	30	28	3
<i>Myrcia</i> sp.	Desconocido	21	8	55	5	5
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merr.	pimienta	0	0	0	0	1
<i>Psidium friedrichsthalianum</i> (O.Berg) Nied.	arrayan *	0	1	0	0	0
<i>Psidium guajava</i> L.	guayaba *	1	1	1	0	0
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	pomarroza *	0	3	4	2	1
<b>Picramniaceae</b>						
<i>Picramnia antidesma</i> Sw.	frutito anaranjado	0	0	1	0	0
<b>Piperaceae</b>						
<i>Piper aduncum</i> L.	hierba de soldado	24	0	0	3	1
<i>Piper amalago</i> L.	malacate tallo rugoso	5	0	1	10	12
<i>Piper arboreum</i> Aubl.	malacate tallo liso	10	0	4	0	9
<i>Piper auritum</i> Kunth	momo	18	0	0	0	14
<i>Piper</i> sp.	malacate tallo manchado	4	1	1	4	7
<b>Poaceae</b>						
<i>Guadua longifolia</i> (E.Fourn.) R.W.Pohl	bambu verde *	98	0	0	0	0
<b>Polygonaceae</b>						
<i>Coccoloba</i> sp.	uvero	0	0	1	0	0
<b>Primulaceae</b>						
<i>Ardisia compressa</i> Kunth	pimienton	0	0	1	3	1
<i>Ardisia</i> sp.	desconocido	0	0	0	0	1
<b>Rubiaceae</b>						
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich. Ex DC.	manzano	0	1	0	0	0
<i>Arachnothryx buddleioides</i> (Benth.) Planch.	cenizo	0	0	2	1	0
<i>Chomelia brachypoda</i> Donn.Sm.	desconocido	0	0	0	0	1
<i>Chomelia pedunculosa</i> Benth.	árbol de rama espinoso	0	0	0	7	0
<i>Hoffmannia</i> sp.	palo de fruto entrenudo	0	0	0	1	0
<i>Hamelia patens</i> Jacq.	coralillo	0	0	1	0	0
<i>Psychotria anceps</i> Kunt	desconocido	0	0	0	0	1
<b>Rutaceae</b>						
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	naranja dulce *	1	0	3	0	0
<i>Citrus</i> sp.	lima *	1	0	0	0	0
<i>Zanthoxylum riedelianum</i> subsp. <i>kellermanii</i> (P.Wilson)	abrojo	9	1	6	1	4
<i>Zanthoxylum</i> sp.	cola de lagarto	1	1	4	2	0
<b>Salicaceae</b>						
<i>Casearia corymbosa</i> Kunth	coloradito	1	0	6	5	0
<i>Pleuranthodendron lindenii</i> (Turcz.) Sleumer.	capulincillo	97	35	15	37	7
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	sauce	0	12	0	62	0
<b>Sapindaceae</b>						
<i>Cupania dentata</i> Moc. & Sessé ex DC.	quebra hacha	9	3	3	14	1
<b>Sapotaceae</b>						
<i>Pouteria durlandii</i> (Standl.) Baehni	zapote de montaña	0	0	3	0	1
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E.Moore & Stearn	zapote	0	0	1	0	0
<b>Styracaceae</b>						

Familia/Especie	Nombre común	Número de individuos				
		s1	s2	s3	s4	s5
<i>Styrax argenteus</i> C.Presl	desconocido	0	0	5	0	0
<b>Solanaceae</b>						
<i>Cestrum nocturnum</i> L.	galán de noche	1	1	0	0	2
<b>Surianaceae</b>						
<i>Recchia simplicifolia</i> T. Wendt & E.J. Lott	tomatillo de río	0	0	0	0	7
<b>Ulmaceae</b>						
<i>Ampelocera hottlei</i> (Standl.) Standl.	luin	0	0	0	3	1
<b>Urticaceae</b>						
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	guarumo	23	8	16	7	16
<i>Ureia caracasana</i> (Jacq.) Gaudich. Ex griseb.	cholagogue	2	0	3	4	4
<i>Ureia elata</i> (Sw.) Griseb.	palo de agua	13	1	0	3	0
<b>Verbenaceae</b>						
<i>Citharexylum donnell-smithii</i> Greenm.	tallo cuadrado	10	1	8	3	0
<b>Total de individuos</b>		<b>774</b>	<b>359</b>	<b>512</b>	<b>575</b>	<b>369</b>

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## CAPITULO III. Artículo científico 2 (publicación anticipada). Link de

acceso: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/87087>

### ECOLOGIA

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/cal>

<https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.87087>

Caldasia 44(2):xx-xx. Mayo-agosto 2022

### CALDASIA

ISSN En línea: 2357-3759

ISSN Impreso: 0366-5232

#### Publicación anticipada

Este trabajo ha sido aceptado para publicación en Caldasia al haber completado el proceso de evaluación por pares y su respectiva corrección, pero no se ha preparado para diagramación ni corrección de estilo. Por tanto, se pueden encontrar diferencias entre esta versión y la publicación final.

Esta versión está disponible al público, pero recomendamos fuertemente que se haga referencia al pdf final para propósitos de citación.

#### Early view

This paper has been accepted for publication in Caldasia after completed the peer review process but has not been through the layout and proofreading processes. Thus, differences between this version and the final file may be found.

This version is available for the public, but we strongly encourage use the final pdf for approved citation.

#### 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 <sup>1,2\*</sup>, LILIA M. GAMA-CAMPILLO <sup>2</sup>, SUSANA OCHOA-GAONA

<sup>3</sup>, WILFRIDO M. CONTRERAS-SÁNCHEZ <sup>2</sup>, ENA E. MATA-ZAYAS <sup>2</sup>, NELLY DEL C.

JIMÉNEZ-PÉREZ <sup>2</sup>, ABISAG A. ÁVALOS-LÁZARO <sup>1</sup>.

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

<sup>2</sup> 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, njimenezp@gmail.com

<sup>3</sup> Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur. Av. Rancho Polígono No. 2ª, Col. Ciudad Industrial, Lerma. CP 24500, Campeche, Campeche.

sochoa@ecosur.mx

\* Autor para correspondencia.



**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): xx-xx. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.87087>

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

## 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.

## 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 c2015) 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 podrían 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 promedio de 26.9 °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)  $\geq 1$  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 (1m<sup>2</sup>) 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  $\leq 1,30$  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, GómezDomínguez *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 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 vegetales. El ANOVA de un factor y la correlación de Pearson se realizaron en SPSS (Castañeda *et al.* c2010) y el ACP mediante el programa PAST de Hammer (c2012). 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).

### **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 (Apéndice). 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 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* Frixell 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 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 (2010) 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  $DAP \geq 1$  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 aproximación 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.

## **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>

Brancalion 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. c2010. 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%20ALISIS%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. c2020. Ley de Aguas Nacionales. [Revisada en: 15 Ene 2020].

[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_060120.pdf](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, Sughanuma 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 Chacona-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. c2012. *Paleontological statistics. Reference manual.* University of Oslo. [Revisada en: 30 Nov 2018]. [http://priede.bf.lu.lv/ftp/pub/TIS/datu\\_analiize/PAST/2.17c/past\\_part1.pdf](http://priede.bf.lu.lv/ftp/pub/TIS/datu_analiize/PAST/2.17c/past_part1.pdf)
- [INEGI] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. c2000. 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](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 ecogeográfica 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 índice. *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. *Arboles 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 biológicas paramétricos? O ¿cómo trabajar con variables biológicas no normales? *Rev. Jard. Bot. Nac.* 39:1-12.
- Posada-Posada MI, Arroyave-Maya MP. c2015. 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-Télez 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. c2013. 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 Kizilimak (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>

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

<b>Valor ORB</b>	<b>Nivel de calidad</b>
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).

**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.

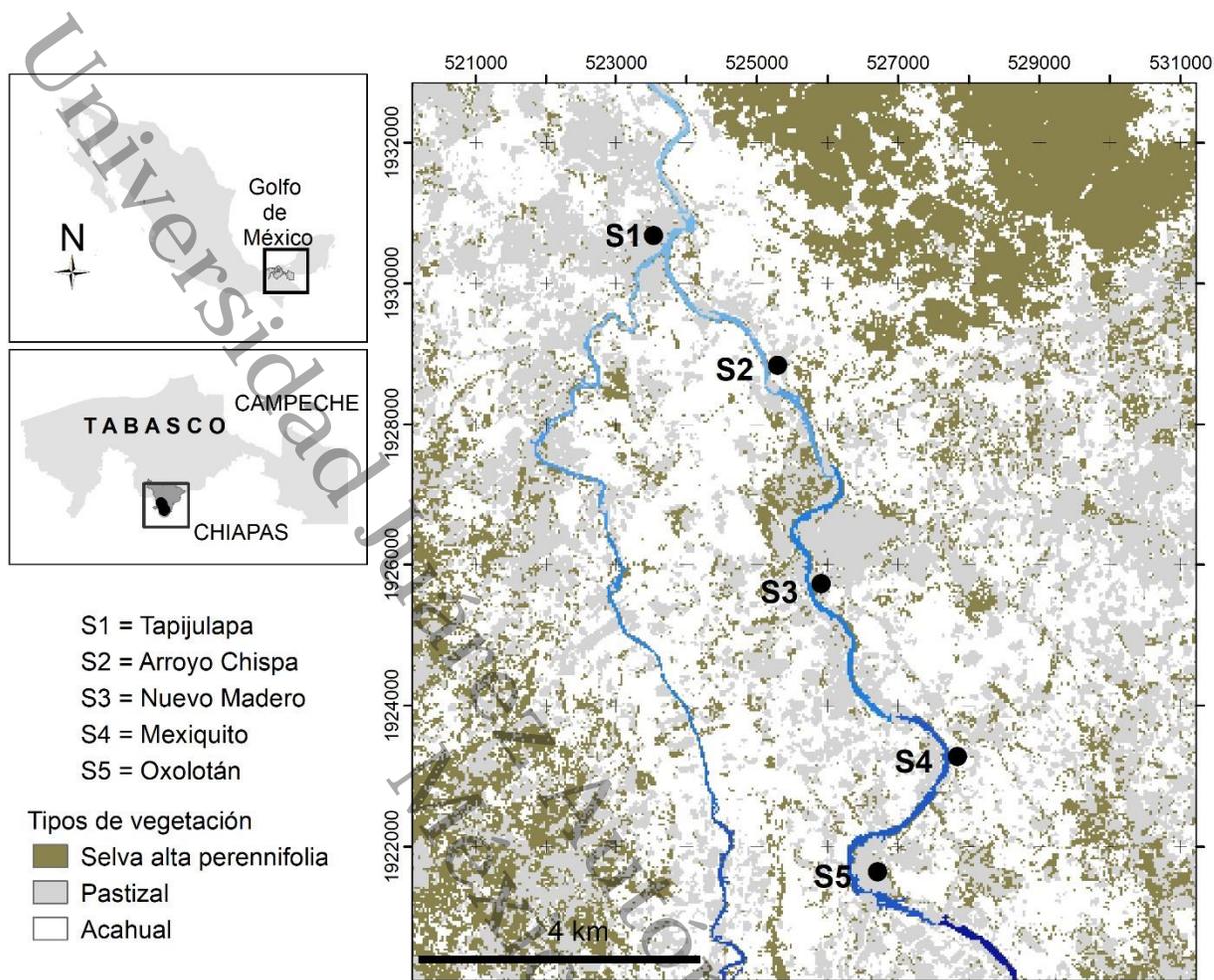
<b>Atributos ecológicos</b>	<b>Sitios</b>				
<i>Árboles ribereños con DAP ≥ 1 cm</i>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>
Riqueza (orden 0)	17,00 <sup>a</sup>	12,50 <sup>a</sup>	17,80 <sup>a</sup>	16,80 <sup>a</sup>	15,80 <sup>a</sup>
Diversidad (orden 1)	11,28 <sup>a</sup>	7,96 <sup>a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

Letras desiguales indican diferencias significativas con el nivel de significancia 0,05

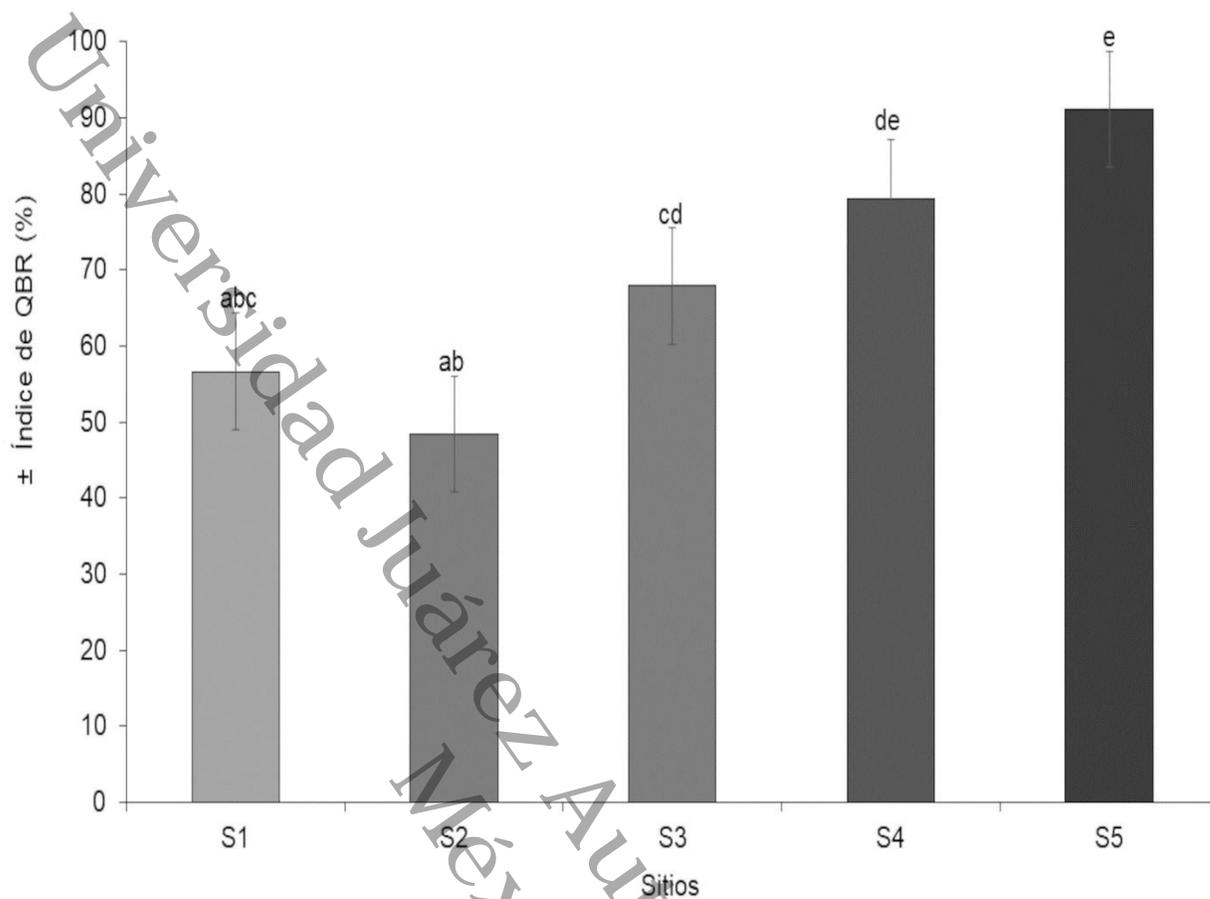
**Tabla 3.** Correlaciones de Pearson entre los valores del Índice de QBR y los atributos estructurales y la diversidad de la vegetación ribereña y regeneración natural.

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

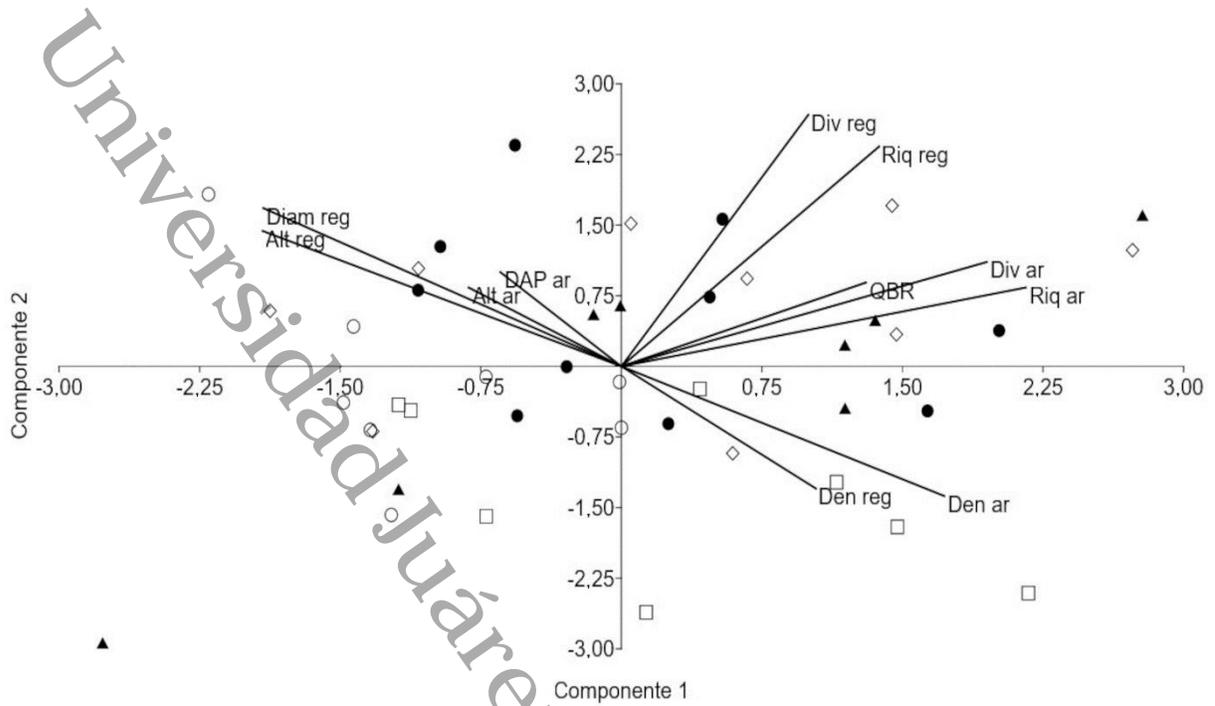
Riq reg = riqueza de regeneración, Div reg = diversidad de regeneración, Den reg = densidad de individuos de regeneración, Diam reg = diámetro de plantas en regeneración a partir de 15 cm desde la base del suelo, Alt reg = altura de plantas en regeneración. ar = solo para árboles con DAP ≥ 1cm.



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



**Figura 2.** Comparación de medias del índice QBR en cinco sitios en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. Letras diferentes indican diferencias estadísticas 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 m<sup>2</sup>).



**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  $\geq$  1cm.

**Apéndice.** Listado florístico de la vegetación ribereña en proceso de regeneración natural en cinco sitios del río Tacotalpa, Tabasco. \* Especies introducidas, NI: especie no identificado.

Familia/Especie	Nombre común	Número de individuos				
		s1	s2	s3	s4	s5
<b>Anacardiaceae</b>						
<i>Mangifera indica</i> Wall.	mango *	0	0	1	0	0
<i>Spondias mombin</i> L.	Jobo	0	0	0	0	2
<b>Anonaceae</b>						
<i>Rollinia mucosa</i> (Jacq.) Baill.	Anona	0	0	0	0	1
<b>Apocynaceae</b>						
<i>Tabernaemontana donnell-smithii</i> Rose ex J.D.Sm.	Lecherillo	4	0	0	0	0
<i>Tabernaemontana</i> sp.	bola de caballo	0	0	1	0	0
<i>Thevetia ahouai</i> (L.) DC.	bola de perro	0	2	0	0	0
<b>Araliaceae</b>						
<i>Dendropanax arboreus</i> (L.) Decne. & Planch.	palo blanco, zopoblanco	0	0	6	11	3
<b>Arecaceae</b>						
<i>Chamaedora</i> sp.	guaya palma	0	0	23	0	0
<b>Asteraceae</b>						
<i>Critonia</i> sp.	desconocido	0	0	1	0	0
<b>Boraginaceae</b>						
<i>Cordia</i> sp.	bojoncillo	0	0	0	1	0
<b>Burseraceae</b>						
<i>Bursera simaruba</i> (L.) Sarg.	palo mulato	12	5	9	9	5
<i>Protium</i> sp.	árbol frutito chile	0	0	0	1	0
<b>Euphorbiaceae</b>						
<i>Acalypha</i> sp.	chamarro	0	0	1	0	3
<b>Fabaceae</b>						
<i>Acacia collinsii</i> Saff.	comezuelo de montaña	0	0	1	0	0
<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd.	comezuelo común	4	9	0	3	0
<i>Acosmium panamense</i> (Benth.) Yakovlev	árbol ramita roja	0	2	1	1	0
<i>Calliandra houstoniana</i> (Mill.) Standl.	charamusco	1	0	0	0	6
<i>Cojoba arborea</i> (L.) Britton & Rose	frijolillo	0	0	21	19	0
<i>Inga jinicuil</i> G. Don	buil té	0	0	2	0	0
<i>Inga vera</i> Willd.	chelele	0	0	2	3	0
<i>Inga</i> sp.	chelelito	1	0	0	1	0
<i>Lonchocarpus hondurensis</i> Benth.	gusano	4	12	2	11	1
<i>Lonchocarpus</i> sp 2	amargoso	0	0	24	2	32
<i>Pithecellobium lanceolatum</i> Benth.	pata de vaca	0	0	0	1	0
<i>Senna papillosa</i> (Britton & Rose) H.S. Irwin & Ba	quelite	0	1	1	0	0
<i>Vatairea lundellii</i> (Standl.) Record	tinco	0	2	7	2	13
<b>Lauraceae</b>						
<i>Nectandra reticulata</i> Mez	aguacatillo, on té	0	0	1	0	0
<i>Nectandra</i> sp.	laurelillo	0	0	4	0	0

<i>Persea americana</i> Mill.	aguacate	0	0	1	0	0
<b>Malvaceae</b>						
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth.	ceiba	0	0	0	0	1
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	guácimo	2	0	0	0	0
<i>Hampea nutricia</i> Fryxell	majagua, jonote blanco	25	0	0	0	0
<i>Hibiscus</i> sp.	tulipan	0	0	0	0	1
<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H.Karst.	bellota	0	0	1	0	0
<b>Meliaceae</b>						
<i>Cedrela odorata</i> L.	cedro	2	1	1	2	11
<i>Guarea glabra</i> Vahl	carbonero	8	2	29	2	2
<i>Guarea</i> sp 2	carbonero 2	0	0	2	3	0
<i>Trichilia havanensis</i> Jacq.	coshigue	7	7	10	5	11
<b>Moraceae</b>						
<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	ramón	0	0	15	80	0
<i>Brosimum</i> sp.	hosh rojo	0	0	0	0	22
<i>Castilla elastica</i> Cerv.	hule silvestre	0	13	13	6	3
<i>Ficus insipida</i> Willd.	amatillo	0	2	5	1	0
<i>Ficus yoponensis</i> Desv.	amate	0	2	0	0	0
<i>Ficus</i> sp.	moraceae	4	0	0	0	0
<i>Poulsenia armata</i> (Miq.) Standl.	carne de pescado	0	0	3	0	0
<i>Trophis racemosa</i> (L.) Urb.	ramoncillo	0	0	1	1	3
<b>Myrtaceae</b>						
<i>Eugenia rhombica</i> (O.Berg) Krug & Urb.	mirtaceae 3	0	0	1	0	1
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	mirtaceae 2	0	1	4	14	5
<i>Myrcia</i> sp	mirtaceae	16	13	32	11	3
<i>Pimenta dioica</i> (L.) Merr.	pimienta	0	0	0	1	0
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	pomarrosa *	0	0	0	10	3
<b>Piperaceae</b>						
<i>Piper amalago</i> L.	malacate tallo rugoso	10	1	2	0	0
<i>Piper arboreum</i> Aubl.	malacate tallo liso	4	1	6	1	5
<i>Piper auritum</i> Kunth	momo	2	0	1	0	1
<i>Piper</i> sp.1	malacate tallo manchado	0	3	2	8	5
<i>Piper</i> sp.2	malacate cimarron	2	0	0	0	0
<i>Piper</i> sp.3	desconocido	0	0	0	0	1
<b>Primulaceae</b>						
<i>Ardisia compressa</i> Kunth	pimienton	0	0	0	8	2
<b>Rubiaceae</b>						
<i>Blepharidium mexicanum</i> Standl.	popiste	0	3	0	0	0
<b>Rutaceae</b>						
<i>Citrus reticulata</i> L.	mandarina *	0	0	0	0	1
<b>Salicaceae</b>						
<i>Casearia corymbosa</i> Kunth	coloradito, frutito verde	0	0	0	2	0
<i>Pleuranthodendron lindenii</i> (Turcz.) Sleumer.	capulincillo	103	55	0	11	12
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	sauce	0	0	0	19	0
<b>Sapindaceae</b>						

<i>Cupania dentata</i> Moc. & Sessé ex DC.	quiebra hacha	9	2	9	12	4
<b>Sapotaceae</b>						
<i>Pouteria sapota</i> (Jacq.) H.E. Moore & Stearn	guala-has	0	0	1	0	0
<b>Solanaceae</b>						
<i>Cestrum nocturnum</i> L.	galán de noche	0	0	1	0	0
<b>Ulmaceae</b>						
<i>Ampelocera hottlei</i> (Standl.) Standl.	luin	0	0	0	0	1
<b>Urticaceae</b>						
<i>Ureia caracasana</i> (Jacq.) Gaudich. Ex griseb.	cholagogue	0	0	2	0	0
<i>Ureia elata</i> (Sw.) Griseb.	palo de agua	1	1	0	1	0
<i>Ureia</i> sp.	desconocido	0	0	0	12	0
<b>Verbenaceae</b>						
<i>Citharexylum donnell-smithii</i> Greenm.	árbol tallo cuadrado	0	0	1	0	0
<b>Morfoespecies</b>						
Morfoespecie 1 (NI)	desconocido	1	1	0	0	0
Morfoespecie 2 (NI)	desconocido	2	0	0	0	0
Morfoespecie 3 (NI)	desconocido	1	0	0	0	0
Morfoespecie 4 (NI)	desconocido	1	0	0	0	0
Morfoespecie 5 (NI)	desconocido	0	8	0	0	0
Morfoespecie 6 (NI)	desconocido	0	1	0	0	0
Morfoespecie 7 (NI)	desconocido	0	4	0	0	9
Morfoespecie 8 (NI)	desconocido	0	1	0	0	0
Morfoespecie 9 (NI)	moracea	0	0	1	0	0
Morfoespecie 10 (NI)	tallito blanco	0	0	1	0	0
Morfoespecie 11 (NI)	hoja peluda	0	0	1	0	0
Morfoespecie 12 (NI)	fabacea	0	0	0	1	0
Morfoespecie 13 (NI)	moracea	0	0	0	0	1
Morfoespecie 14 (NI)	desconocido	0	0	0	0	1
Morfoespecie 15 (NI)	lengua de perro	1	0	0	0	0
<b>Total de individuos</b>		<b>227</b>	<b>155</b>	<b>254</b>	<b>276</b>	<b>175</b>

## **CAPITULO IV. Propuestas de estrategias de restauración ecológica en un bosque ribereño del sureste de México.**

### **Introducción**

Según SER (2004), la restauración ecológica se define como el proceso de asistir a la recuperación de un ecosistema que ha sido dañado, degradado o destruido. Este concepto es apoyado con la ecología de la restauración que es una ciencia o disciplina científica que desarrolla principios para guiar la práctica de la restauración ecológica en sentido práctico en campo (Falk et al., 2006; Howe y Martínez-Garza, 2014 y López-Barrera *et al.* 2017). La restauración ecológica puede suceder a través de diferentes actividades: a) rehabilitación de áreas degradadas; b) aumentar la capacidad de producción de tierras degradadas; c) mejorar la calidad de las reservas naturales existentes y d) mejorar la conservación de la naturaleza (Martínez y López-Barrera, 2008). Uno de los enfoques de la restauración es recuperar la diversidad, estructura y los procesos ecológicos de una comunidad, lo cual está basado y apoyado con las teorías ecológicas como la estabilidad de ecosistemas y resiliencia (López-Barrera *et al.*, 2017).

La ecología de comunidades tiene sus raíces en la observación y descripción de los patrones de la estructura de la comunidad, que incluye la composición, diversidad y la densidad de especies de una comunidad específica (Menninger y Palmer, 2006). En este contexto, Cowles (1899) y Clements (1936) fueron los primeros ecólogos que describieron las asociaciones de especies vegetales y las etapas de sucesión (Menninger y Palmer, 2006). Whittaker y Levin (1977) mencionan que desde el enfoque de la ecología vegetal, la sucesión son cambios en cuanto a los patrones de distribución de las plantas y la composición específica de las comunidades en el tiempo, como un fenómeno natural y común. Mientras que en término paisajística, la sucesión vegetal consiste una secuencia de reemplazo de elementos del paisaje, donde se analiza como esta secuencia se integra a un modelo general de cambio del paisaje (Whittaker y Levin, 1977). Asimismo, Gómez (2009) y Martínez (2014), afirman que la sucesión ecológica es una de las teorías centrales de la ecología y

trasciende las bases teóricas del ámbito científico hacia aplicaciones prácticas, para facilitar la recuperación de ecosistemas.

Por lo anterior, en algunos estudios se han generado diferentes métodos de restauración ecológica para la recuperación de áreas degradadas, mediante el establecimiento de plantas de especies pioneras, especies secundarias de crecimiento rápido, frutos carnosos atractivos para la fauna dispersora y sociedad aledaña y de especies de sucesión tolerantes a la sombra intermedia con la finalidad de evitar la erosión de suelo, recuperar la diversidad biológica y los servicios ecosistémicos (Cali 2012).

Con base en las revisiones bibliográficas, datos registrados en campo, resultados obtenidos, en conjunto con las recomendaciones de López-Barrera (com. Pers.), se generaron algunas propuestas para las estrategias de restauración de la vegetación ribereña en el río Tacotalpa, Tabasco (activa y pasiva). Estas estrategias se basaron en el método de nucleación de Corbin y Holl (2012) y métodos lineales de López-Barrera (com. Pers.), ajustando con las especies arbóreas y arbustivas registradas en el área de estudio que se establecen en diferentes etapas de sucesión.

El método de nucleación considerado para esta estrategia fue el establecimiento de pequeñas islas con tres combinaciones de especies con diferentes etapas de sucesión: a) especies arbóreas de sucesión temprana con especies de sucesión tolerantes a la sombra intermedia, b) estacas con capacidad de reproducción vegetativa con especies de sucesión intermedia y c) especies arbustivas con especies de sucesión intermedia. De acuerdo a Bloomfield (2012), las especies tolerantes a la sombra intermedia, pueden soportar la luz directa o un claro para que logren su establecimiento y desarrollo exitoso. Para el método lineal se propusieron: a) intercalar especies de sucesión temprana con especies intermedias y b) siembras directas de especies tolerantes de sombras intermedias en zonas con remanentes de vegetación. Estas propuestas se consideraron con la finalidad de recuperar la conectividad, estructura y diversidad de especies vegetales en el

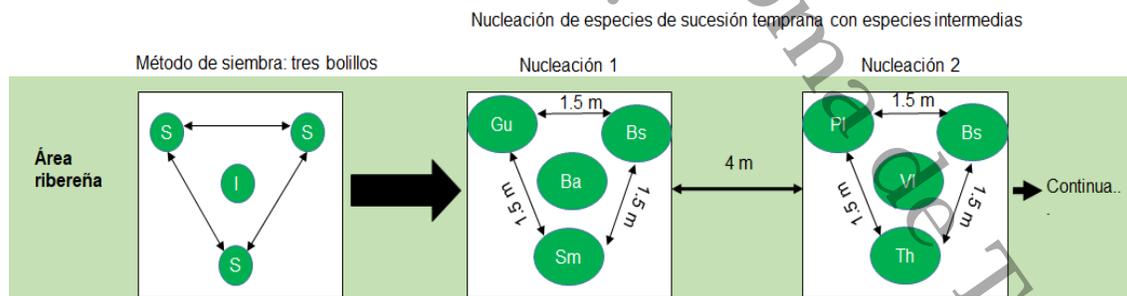
corredor biológico-ribera y provisión de servicios ecosistémicos de la ribera. Para ello, se seleccionaron cinco especies de sucesión temprana, cinco de sucesión tolerantes de sombra intermedia, tres especies que se reproducen por estacas y dos especies arbustivas (Tabla 1).

**Tabla 1.** Especies consideradas para proponer las estrategias de restauración en un bosque ribereño del sureste de México.

Sucesión temprana (S)	Sucesión intermedia (T)	Por estacas (E)	Arbustos (A)
<i>Bursera simaruba</i> (Bs)	<i>Brosimum alicastrum</i> (Ba)	<i>Gliricidia sepium</i> (Gs)	<i>Myrcia splendens</i> (Ms)
<i>Guazuma ulmifolia</i> (Gu)	<i>Vatairea lundelli</i> (Vl)	<i>Guazuma ulmifolia</i> (Gu)	<i>Muntingia calabura</i> (Mc)
<i>Spondias mombin</i> (Sm)	<i>Cordia alliodora</i> (Ca)	<i>Salix humboldtiana</i> (Sh)	
<i>Pleuranthodendron lindenii</i> (Pl)	<i>Persea americana</i> (Pa)		
<i>Trichila havanensis</i> (Th)	<i>Licania platypus</i> (Lp)		

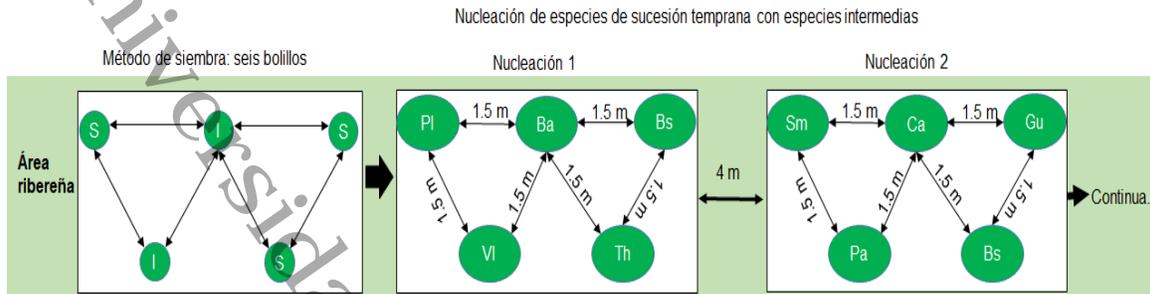
A continuación se enlistan las propuestas de estrategias de restauración para los sitios que resultaron con mayor nivel de perturbación:

1. Establecimiento de tres especies arbóreas de sucesión temprana (S), combinada con una especie de vegetación intermedia (I) (Figura 1).



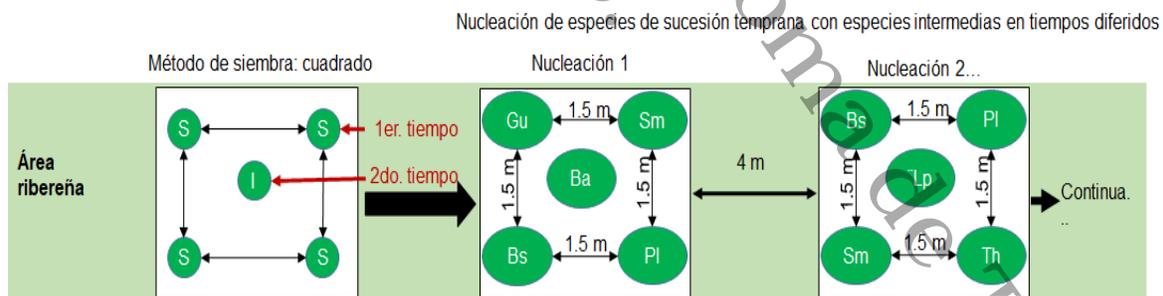
**Figura 1.** Propuesta de restauración de sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. S = especies de sucesión temprana: *Bursera simaruba* (Bs), *Guazuma ulmifolia* (Gu), *Spondias mombin* (Sm), *Pleuranthodendron lindenii* (Pl), *Trichila havanensis* (Th). I = especies de sucesión intermedia: *Brosimum alicastrum* (Ba) y *Vatairea lundelli* (Vl).

2. Establecimiento de tres especies arbóreas de sucesión temprana (S), combinadas con dos especies de vegetación intermedia (I) (Figura 2).



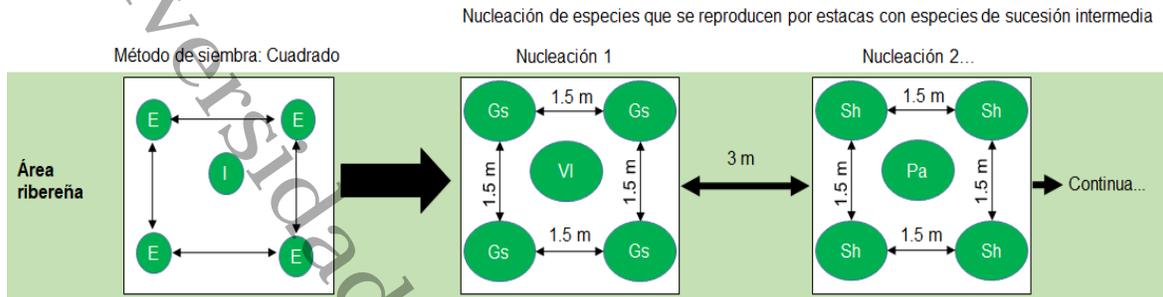
**Figura 2.** Propuesta de restauración de sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. S = especies de sucesión temprana: *B. simaruba* (Bs), *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm), *P. lindenii* (PI), *T. havanensis* (Th). I = especies de sucesión intermedia: *B. alicastrum* (Ba), *V. lundelli* (VI), *C. alliodora* (Ca) y *P. americana* (Pa).

3. Establecimiento de cuatro especies arbóreas de sucesión temprana (S), combinada con una especie de sucesión intermedia (I) en tiempos diferidos, es decir primera se debe establecer las especies tempranas y posteriormente las especies intermedias, debido a su requerimiento de sombra (Figura 3).



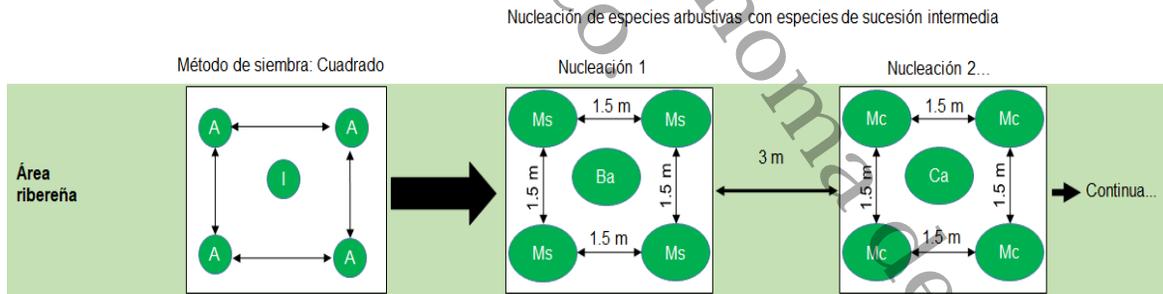
**Figura 3.** Propuesta de restauración de sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. S = especies de sucesión temprana: *B. simaruba* (Bs), *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm), *P. lindenii* (PI), *T. havanensis* (Th). I = especies de sucesión intermedia: *B. alicastrum* (Ba) y *L. platypus* (Lp).

4. Establecimiento de una especie de reproducción por estacas (E), combinada con una especie arbórea de sucesión intermedia (I), esto debido, a su requerimiento de sombra y protección (Figura 4).



**Figura 4.** Estrategia de restauración en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. E = especies de reproducción por estacas: *Gliricidia sepium* (Gs), *Salix humboldtiana* (Sh). I = especies de sucesión intermedia: *V. lundelli* (VI) y *P. americana* (Ps).

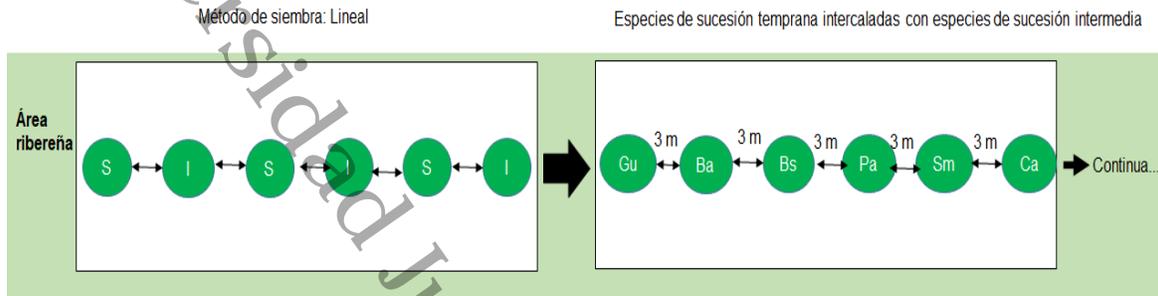
5. Establecimiento de una especie arbustiva (A), combinada con una especie de vegetación intermedia (I), esto debido, a su requerimiento de sombra y protección (Figura 5).



**Figura 5.** Estrategia restauración en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. A = especies arbustivas: *Myrcia splendens* (Ms), *Muntingia calabura* (Mc). I = especies de sucesión intermedia: *B. alicastrum* (Ba) y *C. alliodora* (Ca).

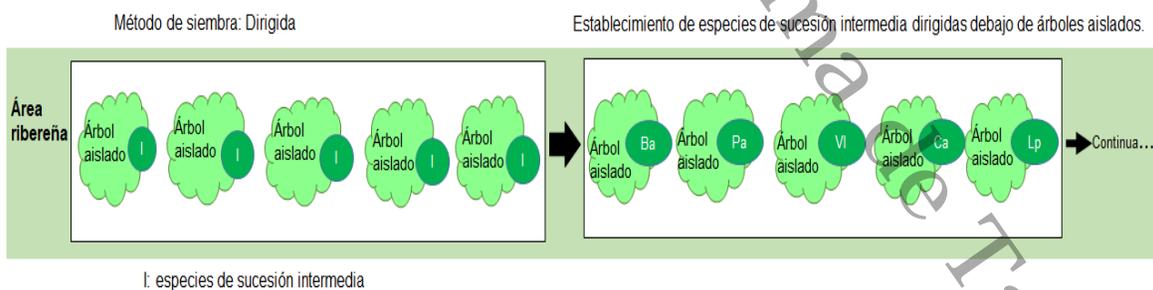
Para los métodos lineales se proponen las siguientes estrategias de restauración:

1. Establecimiento de árboles intercalando especies de sucesión temprana (S) con especies de vegetación intermedia (I) en los sitios degradados del río Tacotalpa (Figura 6).

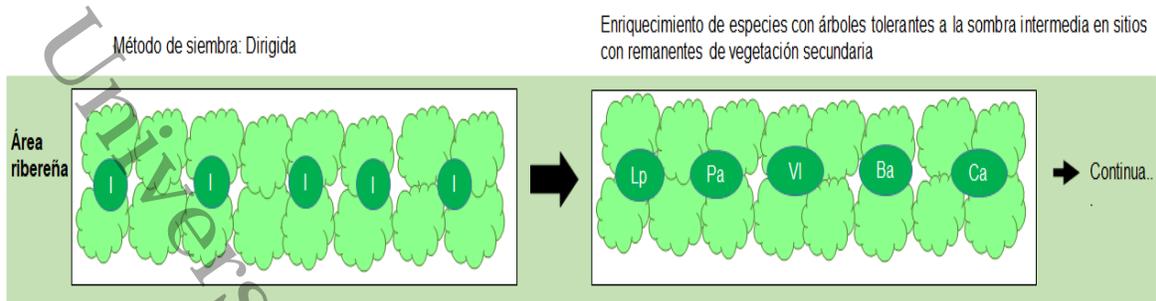


**Figura 6.** Estrategia de restauración en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. S = especies de sucesión temprana: *B. simaruba* (Bs), *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm). I = especies de sucesión intermedia: *B. alicastrum* (Ba), *C. alliodora* (Ca) y *P. americana* (Pa).

2. Asimismo, para los sitios con árboles aislados y menos perturbados se proponen la restauración dirigida mediante establecimientos directos de especies intermedias (I) debajo de los árboles remanentes y dentro de los sitios con fragmentos de vegetación secundaria (Figura 7 y 8).



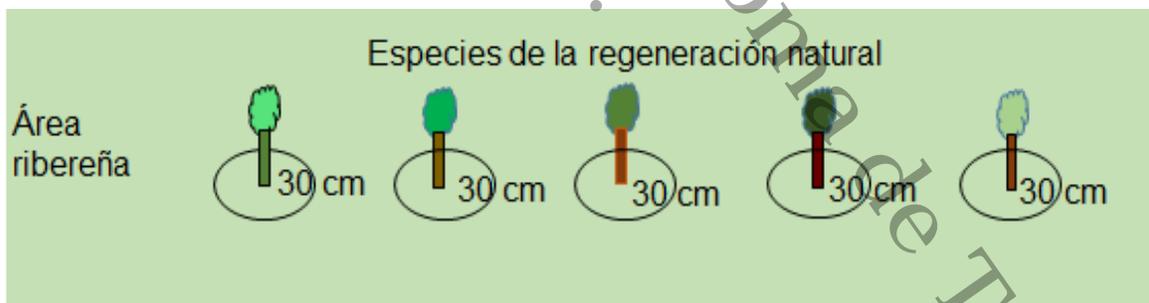
**Figura 7.** Propuesta de restauración de sitios con remanentes de vegetación en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. I = especies de sucesión intermedia: *B. alicastrum* (Ba), *V. lundelli* (VI), *Cordia alliodora* (Ca), *P. americana* (Pa) y *L. platypus* (Lp).



**Figura 8.** Establecimiento de especies en sitios con menor alteración en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. I = especies de sucesión intermedia: *B. alicastrum* (Ba), *V. lundelli* (VI), *Cordia alliodora* (Ca), *P. americana* (Pa) y *Licania platypus* (Lp).

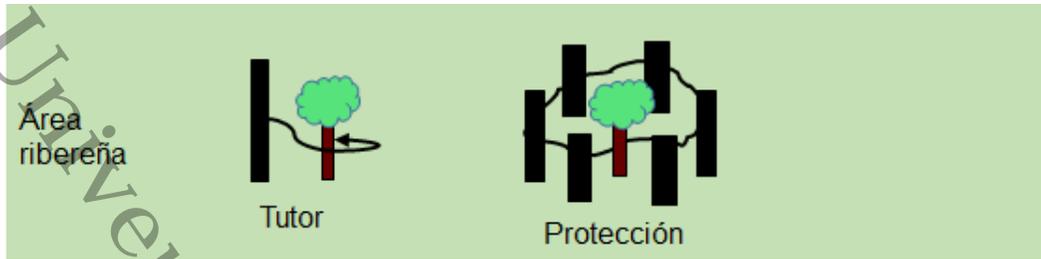
En relación a la restauración pasiva se proponen cinco estrategias de restauración en el corredor ribereño del río Tacotalpa:

1. *Manejo de la regeneración natural.* Para esta estrategia, se recomienda manejar los sitios donde se obtuvo mayor diversidad de especies en proceso de regeneración natural con actividades de menor esfuerzo, tales como la remoción de especies invasoras alrededor de la base de las plántulas (Figura 9).



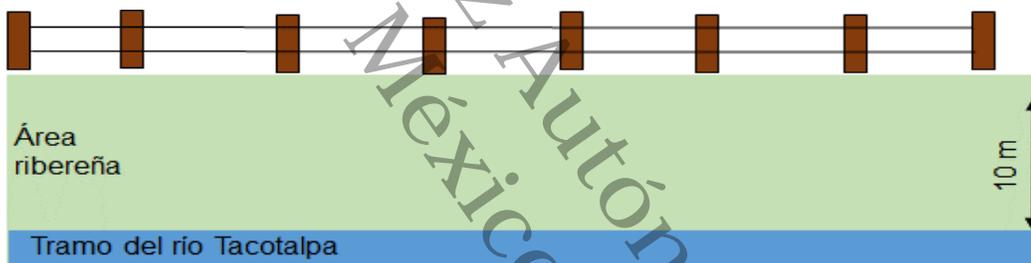
**Figura 9.** Estrategia de restauración pasiva de los sitios con menor perturbación en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.

2. *Liberación y protección de especies.* En esta estrategia, se recomienda liberar especies que están en proceso de regeneración natural y colocar un tutor o protección durante su desarrollo vertical y diamétrico (Figura 10).



**Figura 10.** Estrategia de restauración pasiva de los sitios menos perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.

3. *Eliminación de factores y presiones que evitan la regeneración natural en áreas ribereñas con presencia de ganados.* Se recomienda colocar cercas perimetrales en los primeros 10 m de vegetación ribereña (zona federal según la Ley de Aguas Nacionales Mexicanas) para evitar el pisoteo de ganado y priorizar la germinación de semillas del suelo (Figura 11).



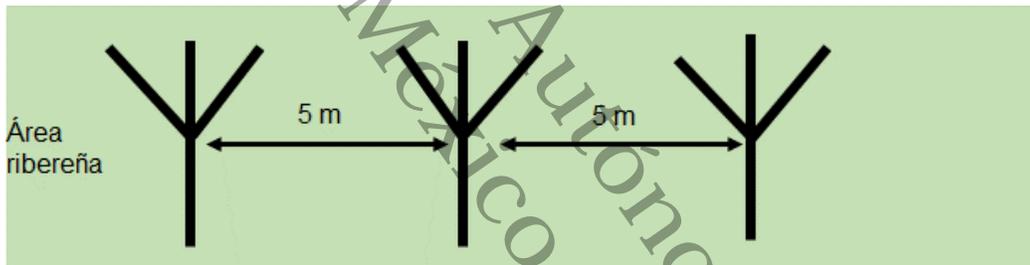
**Figura 11.** Estrategia de restauración pasiva de los sitios con presencia de ganado bovino en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.

4. *Priorizar la liberación de especies con capacidad de retoños o especies de vegetación primaria.* Se recomienda liberar especies tales como *Guazuma ulmifolia*, *Glicirria sepium* como especies de sucesión temprana y otras como *Trichilia havanensis* y *Pleuranthodendron lindenii* con potencial de retoñar y de crecimiento rápido en las márgenes del río Tacotalpa (Figura 12).



**Figura 12.** Estrategia de restauración pasiva de los sitios perturbados con presencia de algunas especies con capacidad de retoños en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.

5. *Colocación de perchas artificiales.* En sitios con pastizal, se recomienda la colocación de perchas artificiales simulando un arbusto en 5 metros de distancia entre perchas a lo largo del corredor ribereño perturbado. Esto con la posibilidad de recuperar los sitios mediante semillas dispersados por aves que se desplazan y descansan en zonas ribereñas (Figura 13).



**Figura 13.** Estrategia de restauración pasiva de los sitios con pastizales en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.

## Literatura citada

Bloomfield, G. 2012. Introducción a la perturbación, regeneración y sucesión de bosques tropicales. Environmental Leadership & Training Initiative. 52 pp. Disponible en: <http://elti.fesprojects.net/2013Azuelo/j.slusser.intro.pdf>

Cali, Y. 2012. Métodos y técnicas para la restauración de bosques. Departamento de Ciencias Biológicas – ESALQ Escuela Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidad de Sao Paulo. Fecha de consulta: 28 de mayo 2018. Disponible en: [https://www.cipav.org.co/pdf/riocali2012/Zoraida\\_Calle02.pdf](https://www.cipav.org.co/pdf/riocali2012/Zoraida_Calle02.pdf).

Clements, F. E. 1936. Nature and structure of the climax. *Journal of Ecology*, 24:252–284.

Corbin, J.D., K.D. Holl. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265:37-46.

Cowles, H. C. 1899. The ecological relations of the vegetation on the sand dunes of Lake Michigan. *Botanical Gazette*, 27: 95–391.

Gómez-Aparicio, L. 2009. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: a meta-analysis across life-forms and ecosystems. *Journal of Ecology*, 97(6): 202–1214. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01573.x>

Falk, D.A., M.A. Palmer y J.B. Zedler. 2006. Foundations of restoration ecology Society Ecological Restoration International. ISLAND PRESS. Washington, Covelo, London. 355 pp.

Howe, H. y C. Martínez-Garza. 2014. Restauración experimental. *Botanical Sciences*, 92, 459–468.

López-Barrera, F., C. Martínez-Garza y E: Ceccon. 2017. Ecología de la restauración en México: estado actual y perspectivas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88: 97-112. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.10.001>

Martínez, M. L. y López-Barrera, F. (2008). Special issue: restoring and designing ecosystems for a crowded planet. *Ecoscience*, 15: 1–5.

Martínez, A.J.V. 2014. Sucesión vegetal en bordes de bosques de pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) del occidente de Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(23): 64-77.

Menninger, H.L. y M.A. Palmer. 2006. Restoring communities: From theory to practice. 5: 88-112. In: D. A. Falk, M.A. Palmer y J.B. Zedler (Eds.). *Foundations of restoration ecology*. Society Ecological Restoration International. ISLAND PRESS. Washington, Covelo, London. 355 pp.

SER. Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. 2004. *The SER International Primer on Ecological Restoration*. Disponible en: [www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration](http://www.ser.org/resources/resources-detail-view/ser-international-primer-on-ecological-restoration).

Whittaker, R.H. y S.A. Levin. 1977. The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theoretical Population Biology*, 12(2): 117-39.

## **Conclusiones generales**

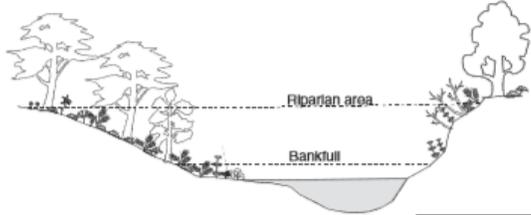
Las diferencias significativas de la diversidad verdadera  $^0D$ , la densidad, el DAP y la altura de árboles ribereños entre algunos sitios indican que el río Tacotalpa está sujeto a diferentes niveles de perturbación, provocando variación en sus atributos ecológicos. La construcción de infraestructura cercana en los corredores ribereños como: casas, carreteras pavimentadas y terracerías está influyendo en la diversidad y estructura de la vegetación ribereña, lo cual puede repercutir en el futuro de estos ecosistemas y puede aumentar la vulnerabilidad de las poblaciones humanas que están cerca de las áreas ribereñas, tales como se mostraron en los resultados finales del capítulo II.

La aplicación del índice QBR en cinco sitios del río Tacotalpa permitió evaluar de manera rápida la condición del bosque ribereño, así mismo se fortaleció con un nuevo enfoque de análisis relacionándolo los valores del índice con atributos ecológicos del bosque ribereño (capítulo III). Estos atributos de la vegetación ribereña podrían dar mayor confiabilidad en los puntajes de calidad de los bosques ribereños tropicales. Las correlaciones positivas entre los valores del índice de QBR con la riqueza y diversidad de especies ( $P < 0.05$ ), y el ACP mostró una tendencia

a mejorar las condiciones del bosque ribereño conforme aumenta la riqueza y diversidad de especies vegetales en los corredores ribereños. El s1, junto con el s3, s4 y s5 mostraron este comportamiento.

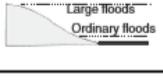
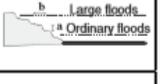
Por las condiciones del sitio 2 donde se registró mayor alteración y menor diversidad de especies vegetales, en el capítulo IV se recomiendan algunas estrategias de restauración con especies arbóreas de sucesión temprana (*Bursera simaruba*, *Guazuma ulmifolia*, *Spondias mombin*, *Pleuranthodendron lindenii* y *Trichillia havanensis*), intercaladas con especies de sucesión tolerantes a la sombra intermedia (*Brosimum alicastrum*, *Vatairea lindelli*, *Licania platypus*, *Persea americana*, *Cordia alliodora*), especies de reproducción por estacas (*Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Salix humboldtiana*) y especies arbustivas (*Muntingia calabura* y *Myrcia splendens*) con la finalidad de recuperar la estructura y diversidad de especies vegetales a lo largo del corredor ribereño y de mitigar el impacto de las inundaciones rápidas durante las temporadas de lluvias. Finalmente, una de las propuestas que se recomienda para la restauración es emplear plántulas de especies arbóreas y arbustivas con mayor nivel de reclutamiento en las zonas muestreadas como bancos de germoplasma para ser distribuidos o plantados en sitios perturbados, con el fin de disminuir el costo de la restauración y aumentar su rápida adaptación.

**Anexo 1.** Formato de campo con las cuatro secciones y puntajes para evaluar la calidad del bosque de ribera (Munné *et al.*, 2003; Posada y Arroyave, 2015).

<b>APPENDIX: FIELD SHEET</b>					
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <h2 style="margin: 0;">QBR INDEX</h2> <h3 style="margin: 0;">Riparian habitat quality</h3> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Score of each part cannot be negative or exceed 25</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <div style="margin-top: 10px;"> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50px;">Station</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Date</td> <td></td> </tr> </table> </div>	Station		Date	
Station					
Date					
<b>Section 1: Total riparian cover</b> <span style="float: right;">Section 1 Score</span>					
Score					
25	>80% of riparian cover (excluding annual plants)				
10	50–80% of riparian cover				
5	10–50% of riparian cover				
0	<10% of riparian cover				
+ 10	If connectivity between the riparian forest and the woodland is total				
+ 5	If the connectivity is higher than 50%				
– 5	Connectivity between 25% and 50%				
– 10	Connectivity lower than 25%				
<b>Section 2: Cover structure</b> <span style="float: right;">Section 2 Score</span>					
Score					
25	>75% of tree cover				
10	50–75% of tree cover or 25–50% tree cover but 25% covered by shrubs				
5	Tree cover lower than 50% but shrub cover at least between 10% and 25%				
0	<10% of either tree or shrub cover				
+ 10	At least 50% of the channel has helophytes or shrubs				
+ 5	If 25–50% of the channel has helophytes or shrubs				
+ 5	If trees and shrubs are in the same patches				
– 5	If trees are regularly distributed and shrubland is >50%				
– 5	If trees and shrubs are distributed in separate patches, without continuity				
– 10	Trees distributed regularly, and shrubland <50%				
<b>Section 3: Cover quality</b> <i>(the geomorphological type should be first determined<sup>a</sup>)</i> <span style="float: right;">Section 3 Score</span>					
Score		<b>Type 1</b>	<b>Type 2</b>	<b>Type 3</b>	
25	Number of native tree species	>1	>2	>3	
10	Number of native tree species	1	2	3	
5	Number of native tree species	0	1	1–2	
0	Absence of native trees				
+ 10	If the tree community is continuous along the river and covers at least 75% of the edge riparian area				
+ 5	The tree community is nearly continuous and covers at least 50% of the riparian area				
+ 5	If the riparian community is structured in gallery				
+ 5	When the number of shrub species is	>2	>3	>4	
– 5	If there are some man-made buildings in the riparian area				
– 5	If there are some isolated species of non-native <sup>b</sup> trees				
– 10	Presence of communities of non-native <sup>b</sup> trees				
– 10	Presence of garbage				
<b>Section 4: Channel alteration</b> <span style="float: right;">Section 4 score</span>					
Score					
25	Unmodified river channel				
10	Fluvial terraces modified and constraining the river channel				
5	Channel modified by rigid structures along the margins				
0	Channelized river				
– 10	River bed with rigid structures (e.g., wells)				
– 10	Transverse structures into the channel (e.g., weirs)				

<sup>a</sup> Type of the riparian habitat (to be applied at level 3, cover quality)

The score is obtained by addition of the scores assigned to left and right river margins according to their slope. This value can be modified if islands or hard substrata are present.

<b>Slope and form of the riparian zone</b>	<b>Score</b>			
	Left	Right		
Very steep, vertical or even concave (slope >75°), very high, margins are not expected to be exceeded by floods. Slope is the angle subtended by the line between the top of the riparian area and the edge of the ordinary flooding of the river.			6	6
Similar to previous category but with a bankfull which differentiates the ordinary flooding zone from the main channel.			5	5
Slope of the margins between 45° and 75°, with or without steps. (a > b)			3	3
Slope between 20° and 45°, with or without steps. (a < b)			2	2
Slope <20°, large riparian zone.			1	1
<b>Presence of one or several islands in the river</b>				
Width of all the islands "a" > 5 m.			- 2	
Width of all islands 'a' < 5 m.			- 1	
<b>Percentage of hard substrata that can make impossible the presence of plants with roots</b>				
> 80%			Not applicable	
60 – 80%			+ 6	
30 – 60%			+ 4	
20 – 30%			+ 2	
<b>Total Score</b>				

**Geomorphological type according to the total score**

>8	<b>Type 1</b>	Closed riparian habitats. Riparian trees, if present, reduced to a small strip. Headwaters.
5–8	<b>Type 2</b>	Headwaters or midland riparian habitats. Forest may be large and originally in gallery.
<5	<b>Type 3</b>	Large riparian habitats, and potentially extensive forests. Lower courses.

<sup>b</sup> Non-native tree species in the study area

(This should be listed for each study area)

e. g. in the studied area of Catalonia the following species are considered non-native: *Populus deltoides*, *Populus x canadensis*, *Populus nigra* ssp. *italica*, *Salix babilonica*, *Ailanthus altissima*, *Celtis australis*, *Robinia pseudo-acacia*, *Platanus x hispanica*.