

Propuestas de restauración ecológica en áreas ribereñas del trópico húmedo de México

Proposals for ecological restoration in riparian areas of the humid tropics of Mexico

Victorio Moreno-Jiménez ^a , Abisag Antonieta Ávalos Lázaro ^{a*} , Santa Dolores Carreño Ruiz ^a , José Juan Zúñiga Aguilar ^a , Rubén Monroy Hernández ^a , Lilia María Gama Campillo ^b 

*Autor de correspondencia: ^a Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad Maya de Estudios Agropecuarios, Catazajá, Chiapas, México, tel.: 9931443998, abisag.avalos@unach.mx

^b Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Tabasco, México.

ABSTRACT

Tropical riparian vegetation is critical because of the different levels of disturbance caused by various anthropogenic activities. The objective of this study is to generate proposals for ecological restoration in riparian areas with different levels of disturbance. The proposals were generated from a previous study on sites and reviews of specialized scientific literature. Active and passive restoration strategies were also considered. The proposals consisted mainly of nucleation and linear methods, considering three combinations of species with different stages of succession: a) tree species of early succession with species tolerant to intermediate shade, b) sticks with the capacity for vegetative reproduction with species of intermediate succession, and c) shrubby species with species of intermediate succession. Thirteen restoration proposals were generated, of which five corresponded to nucleation and three linearly as part of the active restoration. On the other hand, five proposals focused on passive restoration. The implementation of these strategies can be adapted using local riparian species, considering their light and shade requirements as well as their adaptation to edaphic conditions.

Keywords: regeneration, tropical rivers, ecosystems, anthropogenic disturbance.

RESUMEN

La vegetación ribereña del trópico se encuentra en una situación crítica por los diferentes niveles de perturbación, provocados por las diversas actividades antropogénicas. El objetivo de esta investigación es generar propuestas de restauración ecológica en áreas ribereñas con diferentes niveles de perturbación. Las propuestas se generaron a partir de un estudio previo en los sitios y de revisiones de la literatura científica especializada. Se consideraron estrategias de restauración activa y pasiva. Las propuestas consistieron principalmente en los métodos de nucleación y lineal, considerando tres combinaciones de especies con diferentes etapas de sucesión: a) especies arbóreas de sucesión temprana con especies 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. Se generaron 13 propuestas de restauración, de las cuales, cinco corresponden a nucleación y tres de forma lineal como parte de la restauración activa. Por otro lado, cinco propuestas se enfocaron a la restauración pasiva. La implementación de las estrategias se puede adaptar con las especies locales al área ribereña, considerando sus requerimientos de luz y sombra, así como su adaptación a las condiciones edáficas.

Palabras clave: regeneración, ríos tropicales, ecosistema y perturbación antropogénica.

INTRODUCCIÓN

Según la SER (2004), la restauración ecológica es el proceso de asistir a la recuperación de un ecosistema dañado, degradado o destruido. En el continuo de restauración de Gann *et al.* (2019) se menciona que la restauración ecológica es una actividad que tiene como objetivo recuperar ecosistemas nativos y mover su trayectoria de recuperación que permita la adaptación a los cambios locales y globales, así como la evolución de las especies que lo componen. Este concepto es apoyado por la ecología de

la restauración, en donde se menciona que es una ciencia que desarrolla principios para guiar las actividades de la restauración ecológica en un sentido práctico (Falk *et al.* 2006, Howe y Martínez-Garza 2014, López-Barrera *et al.* 2017) y que busca recuperar la integridad de los ecosistemas (Gann *et al.* 2019).

En este contexto, la restauración ecológica puede suceder a través de diferentes actividades desde: a) la rehabilitación de áreas degradadas; b) el aumento de la capacidad de producción de tierras degradadas; c) mejorar la integridad de los ecosistemas nativos y d) mejorar en la

conservación de la naturaleza (Gann *et al.* 2019). Uno de los enfoques de la restauración es recuperar la diversidad, la estructura y los procesos ecológicos de un ecosistema, lo cual está basado y apoyado con las teorías ecológicas como la estabilidad de ecosistemas y resiliencia (López-Barrera *et al.* 2017).

En el caso de la ecología de comunidades, se fundamenta en la observación y descripción de los patrones de la estructura de la comunidad, que incluye la composición, la diversidad y la densidad de especies de una comunidad específica (Menninger y Palmer 2006). En este sentido, Clements (1936) y Cowles (1899) son los primeros ecólogos que describieron las asociaciones de especies vegetales y las etapas de sucesión (Menninger y Palmer 2006). Asimismo, Whittaker y Levin (1977) mencionan que, desde el enfoque de la ecología vegetal, la sucesión vegetal implica 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 frecuente. Sin embargo, a escala del paisaje, la sucesión vegetal es entendida como una secuencia de reemplazo de elementos del paisaje en el tiempo, donde se analiza cómo esta secuencia se integra a un paisaje modificado (Whittaker y Levin 1977).

Por su parte, Gómez-Aparicio (2009) y Martínez (2014), mencionan que la sucesión ecológica es una de las teorías centrales de la ecología y las bases teóricas se aplican en prácticas de campo, para facilitar y apoyar la recuperación de la cobertura vegetal. Estas teorías apoyan a las estrategias de restauración de los ecosistemas ribereños y cobran relevancia en los últimos años, debido a que brindan servicios ecosistémicos a las poblaciones y por mantener el equilibrio ecológico de los sistemas ribereños. Además, estos ecosistemas se encuentran en una situación crítica, debido a las diferentes perturbaciones antropogénicas (Meli 2014, Naiman *et al.* 2005, Wohner *et al.* 2021).

Por lo anterior, algunos estudios proponen diferentes métodos de restauración ecológica para la recuperación de áreas degradadas, mediante el establecimiento de especies de plantas nativas de crecimiento rápido (demandantes de luz) y de especies de sucesión tolerantes a los diferentes niveles de sombra (sombra intermedia y crecimiento lento) con la finalidad de aumentar el porcentaje de supervivencia, así como, recuperar la composición de especies, los servicios ecosistémicos y de evitar la erosión de suelo (Vargas 2011). Es por ello, que la presente investigación aporta algunas propuestas de diseños y manejo de vegetación relevantes de restauración para los bosques ribereños de zonas tropicales a nivel local, que mitigue los impactos negativos de las alteraciones humanas, así como de una guía para implementar acciones de restauración para recuperar la estructura y diversidad de especies vegetales con utilidad para monitorear las condiciones ecológicas de recuperación. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es proponer algunas estrategias de restauración ecológica para su aplicación en áreas ribereñas con ciertos niveles de perturbación en una subcuenca del Sureste de México,

basados en estudios previos de campo realizados por el primer autor.

MÉTODOS

Área de estudio. El área donde se plantearon las propuestas de restauración se ubica en la subcuenca del río Tacotalpa. La subcuenca colinda al norte con los municipios de Jalapa y Macuspana, Tabasco y pertenece a la cuenca Grijalva que desemboca en el golfo de México (Ortiz-Pérez *et al.* 2005). A lo largo del río Tacotalpa se ubicaron cinco sitios de estudio (figura 1). Estos corresponden a los sitios donde se realizaron estudios previos de la diversidad y la estructura de la vegetación ribereña (Moreno-Jiménez *et al.* 2022). De acuerdo con García (2004), el clima corresponde a cálido húmedo con lluvias todo el año Af(m), con 25,6 °C. Algunos de los sitios se ubicaron sobre rocas calizas-lutitas del Cretácico superior, con relieves inclinadas y con pendientes de 40 a 100 % y suelos Leptosoles Réndzicos con buena acumulación de materia orgánica, según estudios previos realizados por Zavala-Cruz *et al.* (2011). Por lo que respecta a la vegetación, Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares (2010) y Zarco-Espinoza *et al.* (2010), describieron que la vegetación original en las partes altas de la subcuenca estuvo conformada con especies propias de selva alta perennifolia tales como ramón (*Brosimum alicastrum* Sw), guapaque (*Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith) y bojón (*Cordia alliodora* (Ruíz & Pav.) Oken). Por su parte, Moreno-Jiménez *et al.* (2017a, 2019b, 2022c) reportaron la presencia de diferentes especies ribereñas como chelele (*Inga vera* Wild.), gusano (*Lonchocarpus hondurensis* Jacq.), coshigue (*Trichilia havanensis* Jacq.), macuilís (*Tabebuia rosea* (Bertol.) Bertero ex A. DC), jobo (*Spondias mombin* L.), palo sangre (*Pterocarpus rohrii* Vahl), cabeza de mico (*Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch.), tincó (*Vatairea lundellii* (Stand.) Sleumer.), capulincillo (*Pleuranthodendron lindenii* (Turcz.) Sleumer.), palo mulato (*Bursera simaruba* L. Sarg.), guácimo (*Guazuma ulmifolia* Lam), cocohíte (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp), capulín (*Muntingia calabura* L.), aguacate (*Persea americana* Mill.), sauce (*Salix humboldtiana* Willd.), *Myrcia splendens* (Sw) y especies del género *Piper* sp.

Método para las propuestas de restauración. Para la elaboración de las propuestas de restauración ecológica en la vegetación ribereña se consideró principalmente los estudios previos de la diversidad, la estructura, la densidad e índice de calidad de vegetación ribereña, así como el listado florístico reportado por Moreno-Jiménez *et al.* (2019b, 2022c) en los sitios mencionados anteriormente. Para sugerir el establecimiento de las especies de interés, se apoyó con el método de nucleación de Corbin y Holl (2012) que se basó en generar pequeñas islas con las especies nativas a lo largo del área a restaurar, o también llamados islas de árboles o plantación racimos (Wilson *et al.* 2021). Para identificar las especies que son de crecimiento

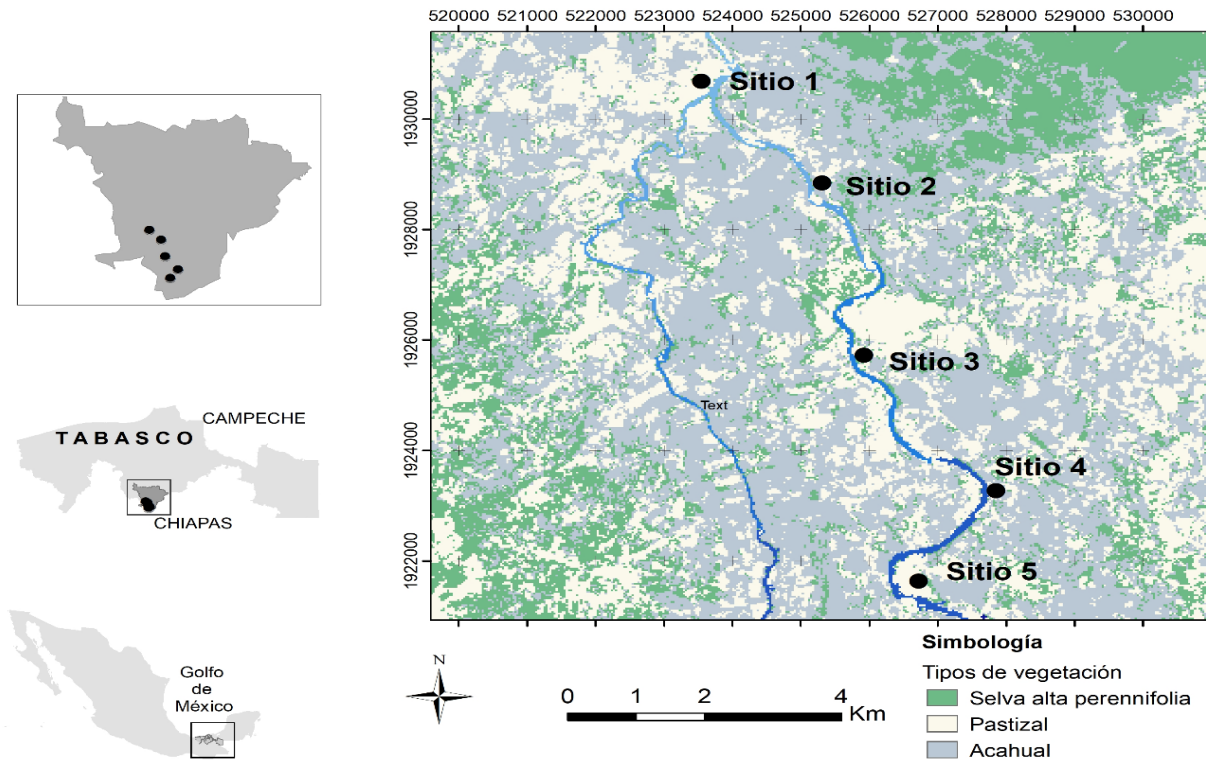


Figura 1. Ubicación geográfica de los sitios de estudio (Moreno-Jiménez *et al.* 2022).
 Geographic location on the study sites (Moreno-Jiménez *et al.* 2022).

rápido y las que son tolerantes a la sombra intermedia y de crecimiento lento se apoyó con literaturas especializadas (Martínez y López-Barrera 2008, Meli *et al.* 2013a, 2014b, 2017c, López-Barrera *et al.* 2017, Moreno-Jiménez *et al.* 2022). Estos autores mencionaron que las especies que se consideran en estas propuestas tienen la capacidad de establecerse en zonas abiertas y con sombras intermedias. Una vez seleccionadas las especies, se propuso que el diseño de plantación sea lineal, con un marco de plantación de tres bolillos y de cuadrados, siguiendo el área del corredor ribereño. Cabe señalar que estas propuestas pueden ser adaptadas y modificados de acuerdo con las especies arbóreas y arbustivas nativas en los sitios de interés, y que por su biología y sus requerimientos ecológicos como la luz y sombra pueden adaptarse con facilidad en las diferentes etapas de sucesión vegetal.

Diseño de las propuestas de restauración y selección de especies. Para generar las propuestas de restauración se consideraron los diferentes niveles de calidad (muy buena, buena, aceptable y mala calidad) en los que se encuentra el corredor ribereño del río Tacotalpa señalados por Moreno-Jiménez *et al.* (2022). La calidad muy buena hizo referencia a la vegetación sin alteraciones en estado natural y la calidad buena se empleó para determinar vegetación ligeramente perturbada, mientras que, la calidad aceptable se utilizó para describir el inicio de una alteración impor-

tante como extracción de árboles y por último la mala calidad indicó la presencia de alteración fuerte por actividades agropecuarias. Con base a estos criterios de calidad se plantearon las propuestas de restauración activa en sitios de mayor alteración con especies ribereñas locales y nativas registradas previamente en los sitios de estudio. Asimismo, se consideraron estrategias de restauración pasiva en los sitios de menor alteración, es decir, en donde aún se mantienen cierta conectividad con áreas adyacentes.

Para diseñar las propuestas de restauración bajo la técnica de nucleación (Corbin y Holl, 2012, Díaz-Triana *et al.* 2023) se consideró el establecimiento de pequeñas islas con tres combinaciones de especies de diferentes etapas de sucesión: a) especies arbóreas de sucesión temprana junto 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. Estas combinaciones se basaron en las especies nativas reportados por Moreno-Jiménez *et al.* (2022) en la subcuenca del río Tacotalpa.

Para el diseño de plantación lineal se propusieron: a) intercalar especies de sucesión temprana (tolerantes a la luz solar) con especies tolerantes a sombras intermedias (especies que sobreviven en presencia de luz en un 50 %) y b) siembras directas de especies tolerantes de sombras intermedias, en zonas con remanentes de vegetación, es decir, con presencia de árboles aislados o parches de ve-

getación que quedaron después de la perturbación. Estas propuestas se consideraron con la finalidad de recuperar la conectividad, la estructura y la diversidad de especies vegetales en el corredor ribereño y recuperar la provisión de servicios ecosistémicos de la ribera, tales como la regulación climática, reducir la erosión, calidad del agua, materias primas como madera, entre otros. Por lo anterior, se seleccionaron cinco especies de sucesión temprana, cinco de sucesión tolerantes de sombra intermedia, tres especies que se reproducen por estacas y dos especies de porte arbustivo (tabla 1). Estas especies han sido reportadas con un buen índice de reclutamiento y consideradas como especies que presentan buen desarrollo en zonas abiertas y de áreas con sombras intermedias. Sin embargo, el número de especies pueden variar, dependiendo de la diversidad y densidad de especies que existen en la zona de interés. En el caso de las especies de sombra intermedia se ha considerado aquellas que requieren menor volumen luminoso para sobrevivir y crecer (Rozas Ortiz 2004).

RESULTADOS

Propuestas de restauración ecológica. El análisis de las condiciones del corredor ribereño de Tacotalpa, Tabasco permitió generar un total de 13 propuestas de estrategias de restauración divididas en activas y pasivas. Para la primera se propusieron ocho estrategias, cinco mediante nucleación y tres en forma lineal y para la segunda se consideraron cinco propuestas pasivas. En este contexto, a continuación, se describen ampliamente las propuestas de restauración para los sitios con mayor y menor nivel de perturbación:

Propuestas de restauración activa mediante métodos de nucleación. Propuesta 1 (A) y 2 (B). En esta se propuso establecer especies arbóreas de sucesión temprana (S), combinada con especies de sucesión intermedia (I) (figura 2). Para ello, se seleccionaron especies de plantas que crecen en sitios sombríos y soleados, con un crecimiento relativamente rápido (Arasa Gisbert *et al.* 2021). Con respecto a la propuesta 1 (A) consistió en establecer las primeras

tres especies arbóreas en forma de tres bolillos, es decir, en forma triangular con una distancia entre plantas de 1,5 m y en el centro incorporar una especie de sucesión intermedia, generando pequeñas islas o núcleos (ver figura 2). Se sugirió dejar una distancia de 4 m entre los pequeños núcleos. Las especies se pueden cambiar de posición hasta cubrir el área a restaurar, es decir, en la posición de *Spondias mombin* (Sm), puede ocupar *Bursera simaruba* (Bs) o viceversa. En la propuesta 2 (B) se consideraron tres especies arbóreas de sucesión temprana (S), combinadas con dos especies de sucesión intermedia (I). El primer núcleo consistió en establecer un diseño de cinco bolillos, de las cuales, la primera especie es de sucesión temprana, posteriormente dos especies de sucesión intermedia, seguida de otras dos especies tempranas (figura 2).

Propuesta 3 (A), 4 (B) y 5 (C). La propuesta 3 (A) consistió en establecer cuatro especies arbóreas de sucesión temprana (S), combinada con una especie de sucesión intermedia (I) a tiempos diferidos, es decir, se deben colocar las especies tempranas previamente en las cuatro esquinas con una distancia de 1,5 m entre plantas y después de un tiempo determinado se establecen las especies intermedias en medio del cuadro, debido a su requerimiento de sombra. En la propuesta 4 (B) se sugirió establecer especies con potencial de reproducción por estacas (E), combinada con una especie arbórea de sucesión intermedia (I), siguiendo el mismo patrón que la anterior. En esta se consideraron estacas como de *G. sepium* y *S. humboldtiana* en las cuatro esquinas y en medio una especie de sombra intermedia. Asimismo, se recomendó dejar una distancia de 3 a 4 m entre islas de cinco especies. Para el caso de la propuesta 5 (C), se recomendó colocar una especie arbustiva (A) de crecimiento rápido en las cuatro esquinas y en medio una especie de sombra intermedia, debido, a su requerimiento de sombra y protección (figura 3).

Propuestas de restauración activa mediante disposiciones lineales. Propuesta 6 (A), 7 (B) y 8 (C). La propuesta 6 (A) consistió en el establecimiento de árboles de sucesión temprana (S) intercalado con especies de vegetación intermedia (I) para sitios degradados, intercalando cada 3 m

Tabla 1. Especies consideradas para las propuestas de restauración en bosques ribereños del trópico húmedo de México.

Species considered to propose restoration strategies in riparian forests of the humid tropics of Mexico.

Sucesión temprana (S)	Sucesión intermedia (T)	Por estacas (E)	Arbustos (A)
<i>Bursera simaruba</i> (Bs)*	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.(Ba)*	<i>Gliricidia sepium</i> (Gs)*	<i>Myrcia splendens</i> (Ms)*
<i>Guazuma ulmifolia</i> (Gu)*	<i>Vatairea lundellii</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>Trichilia havanensis</i> (Th)*	<i>Licania platypus</i> (Lp)*		

*especies locales registradas por Moreno-Jiménez *et al.* (2019, 2022) en los sitios de estudio

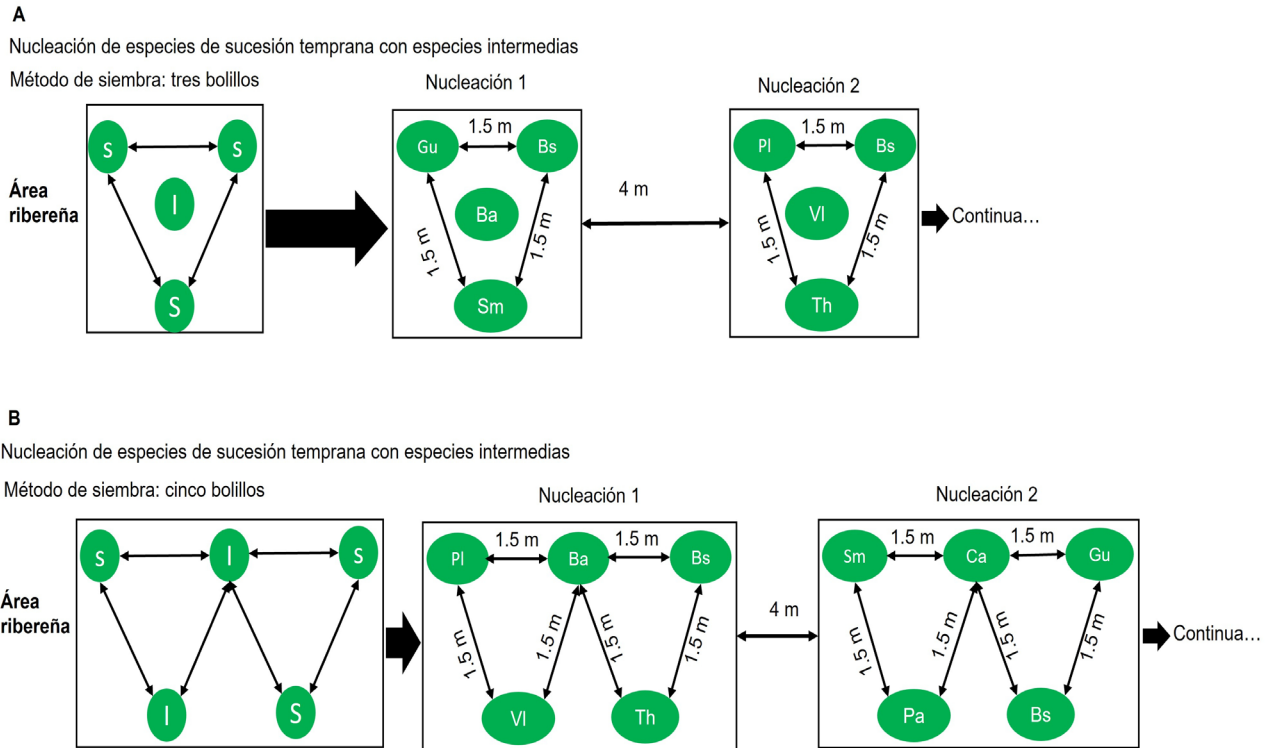


Figura 2. Propuesta de restauración activa mediante nucleación en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. 1 (A): Nucleación simple en tres bolillos. 2 (B): nucleación de cinco bolillos. S = especies de sucesión temprana: *B. simaruba* (Bs), *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm), *P. lindenii* (Pl), *T. havanensis* (Th). I = especies de sucesión intermedia: *B. alicastrum* (Ba), *V. lundellii* (VI), *C. alliodora* (Ca) y *P. americana* (Pa).

Proposal for active restoration through nucleation in disturbed sites on the banks of the Tacotalpa River, Tabasco. 1 (A): Simple nucleation in three bobbins. 2 (B): nucleation of five bobbins. S = early successional species: *B. simaruba* (Bs), *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm), *P. lindenii* (Pl), *T. havanensis* (Th). I = intermediate succession species: *B. alicastrum* (Ba), *V. lundellii* (VI), *C. alliodora* (Ca) and *P. Americana* (Pa).

de distancia entre plantas hasta cubrir el área a recuperar. Esta propuesta se generó debido a que la especie de sucesión temprana y de crecimiento rápido le provee sombra a la especie de sucesión intermedia. Para el caso de 7 (B) se sugirió implementar para sitios con árboles aislados y remanentes de vegetación existentes después de una perturbación o en su caso sitios menos perturbados. Para ello, se deben realizar establecimientos dirigidos con especies que toleran la sombra intermedia (I) cerca de los árboles remanentes que funcionen como nodrizas, es decir, cobijar la planta mientras crece. Por otro lado, en la propuesta 8 (C) se recomendó realizar enriquecimiento de especies con árboles tolerantes a la sombra intermedia dentro de los sitios con fragmentos de vegetación secundaria (figura 4).

Propuestas de restauración pasiva mediante el manejo de regeneración natural. Propuesta 9 (A) y 10 (B). Para la propuesta 9 (A) se recomendó manejar la regeneración natural, por lo cual está orientada a sitios donde existe mayor diversidad de especies en proceso de regeneración natural para intervenir con actividades de menor esfuerzo, tales como la remoción de especies invasoras o herbáceas que compiten con el espacio y nutrientes con 30 cm alrede-

dor de la base de las plántulas de interés. Para el caso de la propuesta 10 (B), se sugirió la liberación y protección de especies, es decir, en el medio natural existen muchas especies de árboles y arbustivas en proceso de regeneración que requieren apoyo en las primeras etapas de desarrollo para liberar de las plantas herbáceas y enredaderas y posteriormente colocar un tutor o protección durante su desarrollo vertical y diamétrica. Una vez que alcancen el crecimiento adecuado aproximadamente 2,5 m de altura se quitan el tutor y la protección (figura 5).

Propuesta 11 (A) y 12 (B). La propuesta 11 (A) consistió en la eliminación de factores que evitan la regeneración natural en áreas ribereñas, tales como la presencia de actividades ganaderas que inciden directamente en la ribera de los ríos. Para ello, se debe colocar cercas perimetrales en los primeros 10 m del área ribereña (zona federal según la ley de aguas nacionales mexicanas) para evitar el pisoteo de ganado y priorizar la germinación de semillas del suelo. Por otra parte, en la propuesta 12 (B), se recomendó priorizar la liberación de especies con capacidad de retoños o especies de vegetación primaria y con ello, liberar especies tales como *G. ulmifolia* y *G. sepium*, debido a que están considerados como especies de sucesión temprana y otras

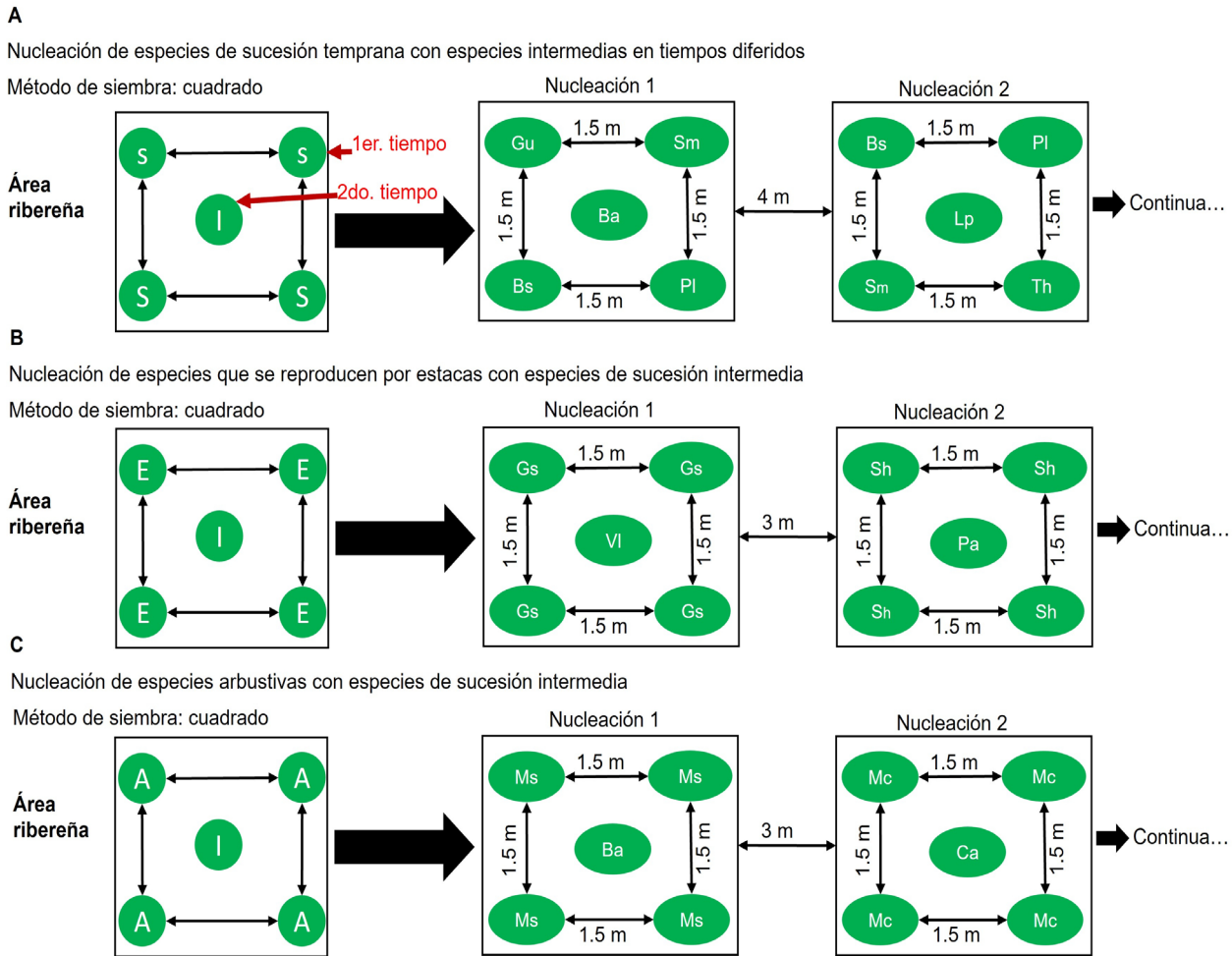


Figura 3. Propuesta de restauración activa en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. 3 (A): nucleación de especies tempranas con sucesión intermedia en tiempos diferidos. 4 (B): nucleación de especies que se reproducen por estacas con sucesión intermedia. 5 (C): nucleación de especies arbustivas con sucesión intermedia. S = especies de sucesión temprana: *B. simaruba* (Bs), *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm), *P. lindenii* (Pl), *T. havanensis* (Th). I = especies de sucesión intermedia: *B. alicastrum* (Ba), *L. platypus* (Lp), *V. lundellii* (VI) y *P. americana* (Pa) y *C. alliodora* (Ca). E = especies de reproducción por estacas: *G. sepium* (Gs), *S. humboldtiana* (Sh). A = especies arbustivas: *M. splendens* (Ms), *M. calabura* (Mc).

Proposal for active restoration in disturbed sites on the banks of the Tacotalpa River, Tabasco. 3 (A): nucleation of early species with intermediate succession at delayed times. 4 (B): nucleation of species that reproduce by cuttings with intermediate succession. 5 (C): nucleation of shrub species with intermediate succession. S = early successional species: *B. simaruba* (Bs), *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm), *P. lindenii* (Pl), *T. havanensis* (Th). I = intermediate succession species: *B. alicastrum* (Ba), *L. platypus* (Lp), *V. lundellii* (VI) and *P. Americana* (Ps). E = species reproduced by cuttings: *G. sepium* (Gs), *S. humboldtiana* (Sh). A = shrub species: *M. splendens* (Ms), *M. calabura* (Mc).

como *T. havanensis* y *P. lindenii* que tienen el potencial de retoño y de crecimiento rápido en las márgenes del río Tacotalpa (figura 6).

Propuesta 13. Por último, se recomendó colocar perchas artificiales en sitios con presencia de pastizales, y, por lo tanto, se debe establecer estructuras simulando un arbusto de 2 a 3 m de altura, con 5 m de distancia entre perchas a lo largo del corredor ribereño perturbado. Esta propuesta abre la posibilidad de recuperar los sitios mediante semillas dispersadas por aves que se desplazan en el área colindante y descansan en zonas abiertas del corredor ribereño (figura 7).

DISCUSIÓN

Las estrategias propuestas en este trabajo surgen de la necesidad urgente para la restauración y protección del corredor ribereño en zonas tropicales de México, con especies locales de sucesión temprana y especies tolerantes a la sombra intermedia como una alternativa para recuperar los servicios ambientales que permitan disminuir entre otros impactos como los desbordes ocasionados por eventos extraordinarios de precipitación en la región (Gama-Campillo *et al.* 2019). Los remanentes de vegetación ribereña y las áreas adyacentes aún guardan especies leñosas en di-

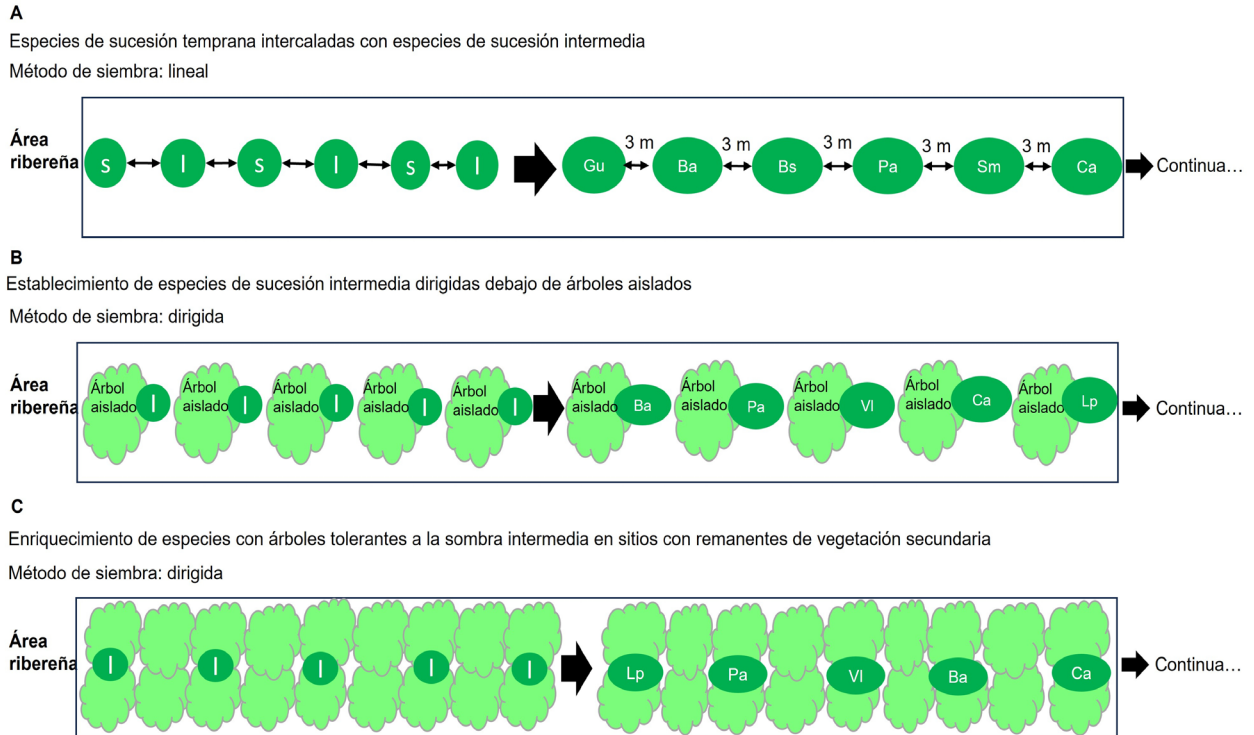


Figura 4. Propuesta de restauración lineal activa en sitios perturbados en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. 6 (A): combinación de especies de sucesión temprana con intermedia. 7 (B): establecimiento de especies de sucesión intermedia debajo de árboles aislados. 8 (C): establecimiento de especies de sucesión intermedia dentro de pequeños fragmentos de vegetación. S = especies de sucesión temprana: *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm). I = especies de sucesión intermedia: *L. platypus* (Lp), *P. americana* (Pa), *V. lundellii* (VI), *B. alicastrum* (Ba), *C. alliodora* (Ca).

Proposal for active linear restoration in disturbed sites on the banks of the Tacotalpa River, Tabasco. 6 (A): combination of early and intermediate successional species. 7 (B): establishment of intermediate successional species under isolated trees. 8 (C): establishment of intermediate successional species within small fragments of vegetation. S = early successional species: *G. ulmifolia* (Gu), *S. mombin* (Sm). I = intermediate successional species: *L. platypus* (Lp), *P. Americana* (Pa), *V. lundellii* (VI), *B. alicastrum* (Ba), *C. alliodora* (Ca).

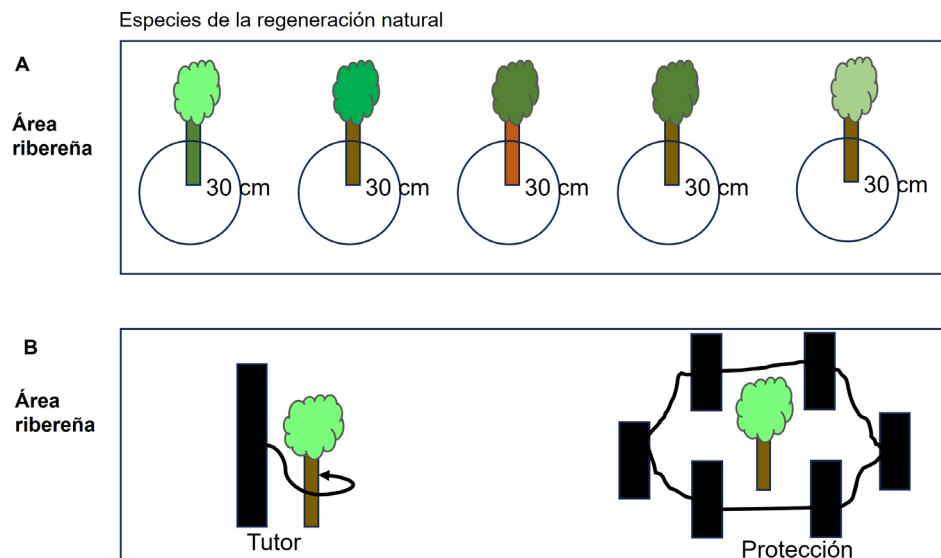


Figura 5. Propuesta de restauración pasiva de los sitios con menor perturbación en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. 9 (A): manejo de regeneración natural con limpieza alrededor de las plantas. 10 (B): liberación de especies y colocación de tutor y protección.

Proposal for passive restoration of the sites with the least disturbance on the banks of the Tacotalpa River, Tabasco. 9 (A): natural regeneration management with cleaning around the plants. 10 (B): release of species and placement of guardian and protection.

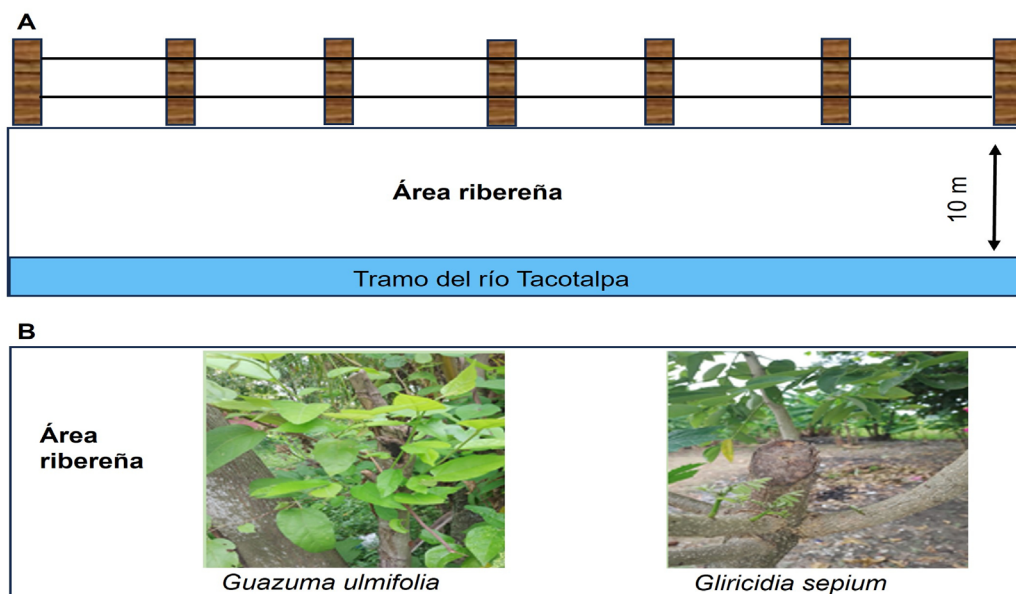


Figura 6. Propuestas de restauración pasiva en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco. 11 (A): establecimiento de cercas perimetrales en áreas ribereñas. 12 (B): liberación de especies con capacidad de retoñar y crecimiento rápido.

Proposals for passive restoration on the banks of the Tacotalpa River, Tabasco. 11 (A): establishment of perimeter fences in riparian areas. 12 (B): release of species with the capacity to sprout and grow rapidly.

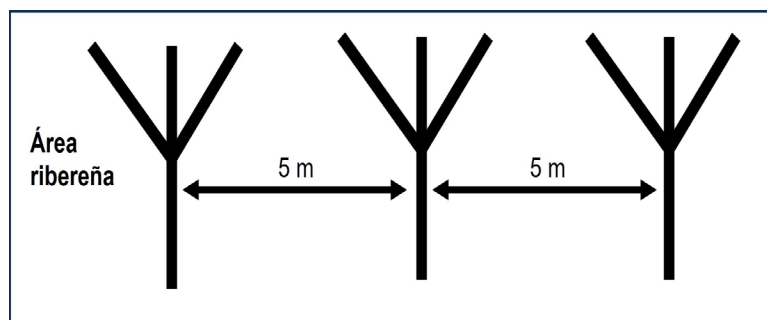


Figura 7. Estrategia de restauración pasiva de los sitios con pastizales en las márgenes del río Tacotalpa, Tabasco.

Passive restoration strategy for grassland sites on the banks of the Tacotalpa River, Tabasco.

ferentes etapas de sucesión ecológica, con relevancia para proponer estrategias de restauración en ríos tropicales. En ellos, se pueden encontrar especies vegetales que tienen la capacidad de tolerar la luz solar y ciertas cantidades de luz (sombras intermedias). Williams-Linera *et al.* (2011) coinciden y afirman que las especies tolerantes a la sombra intermedia pueden soportar cierta cantidad de luz directa o un claro para lograr su establecimiento y desarrollo exitoso en una restauración. El establecimiento de arbustos de crecimiento rápido puede acelerar la recuperación de sitios con mayor alteración. Por otro lado, reportes de Giraldo *et al.* (2020) quienes mencionan que una de las estrategias para la recuperación en corredores ribereños es el establecimiento de arbustos en áreas ganaderas, debido a su rápido crecimiento y que proveen beneficios positivos

en ambientes acuáticos. En estudios previos, Moreno-Jiménez *et al.* (2019b, 2022c) recomiendan algunas especies locales arbóreas y arbustivas, con presencia en el corredor del río Tacotalpa, Tabasco, en diferentes etapas de recuperación para la restauración por su rápida adaptación. Esto coincide con los reportes previos de Moreno-Jiménez *et al.* (2017a, 2019b, 2022c) donde recomiendan a *T. havanensis*, *S. humboldtiana* y *P. lindenii* con mayor reclutamiento y en diferentes estados sucesionales.

Asimismo, Meli *et al.* (2017) citan a *L. Platypus* y *B. alicastrum* como especies leñosas potencialmente útiles para la restauración de bosques ribereños en Chiapas. Williams-Linera *et al.* (2011) también registran a *B. alicastrum* como una de las especies de sucesión intermedia. Estas especies cuentan con distribución tropical en áreas ribereñas

de la región sursureste de México (Pennington y Sarukhán 2005), por ello, se consideran pertinentes en propuestas de restauración en ríos tropicales. Además, de constituir especies indicadoras de vegetación secundaria y primaria, ideales para proponer estrategias de restauración que engloben un buen manejo y conservación de las especies locales. La inclusión de estas especies podría ser fundamentales para la recuperación de los servicios ecosistémicos y sobre todo para organismos acuáticos (Giraldo *et al.* 2020). Del mismo modo, Naiman *et al.* (2005) y Meli *et al.* (2014) coinciden que las estrategias de restauración en las áreas ribereñas son muy importantes por las diversas funciones que proveen, incluyendo a las poblaciones aledañas. Dentro de las propuestas, se considera que la restauración pasiva es la más adecuada y funcional, debido a que su ejecución genera menor costo. Por ejemplo, Meli *et al.* (2014) manifiestan que la restauración pasiva acompañada con la participación social es de menor presupuesto. Además, las especies como *B. alicastrum* y *L. Platypus* se consideran como especies de vegetación original que podrían ayudar a la recuperación de sitios alterados, mediante la regeneración natural. Martínez-Ramos y García-Orth (2007) señalan que este proceso de recuperación depende de la disponibilidad de propágulos locales y foráneos, así como la presencia de fauna granívora, depredadora y de condiciones abióticas en el sitio perturbado. Arias *et al.* (2021) también mencionan que el manejo intermedio de las herbáceas ayuda a mejorar el éxito de la restauración, debido a que reduce la radiación solar sobre las especies establecidas.

Con relación a la estrategia de restauración, se propone que el método de nucleación permite acelerar la restauración creando pequeños parches y conectividad a lo largo del corredor ribereño, así como las áreas adyacentes a la ribera. Corbin y Holl (2012) coinciden que el establecimiento de pequeñas islas de especies leñosas permite alcanzar en un periodo corto la conectividad de los bosques, por lo que se recomienda este tipo de restauración para aquellos proyectos que busquen la creación de corredores biológicos o la interconectividad entre parches de vegetación, así como en la recuperación de cuencas, subcuencas, microcuencas y nanocuencas. Por otro lado, se sugiere la inclusión de especies locales de vegetación primaria en tiempos diferidos para fortalecer la recuperación de sitios alterados, incluyendo al suelo. Esto se refuerza con las recomendaciones de Meli *et al.* (2017) quienes señalan que las especies nativas con valor local como *B. alicastrum* y *L. platypus* pueden incorporarse en etapas posteriores a las especies de etapa temprana para proveer sombra y protección durante su adaptación y crecimiento. En este contexto, también se reconoce que cuando las especies vegetales se recuperan y generan sombra pueden mejorar la humedad del suelo y aumentar la diversidad de especies vegetales. Del mismo modo, Sarvade *et al.* (2016) reafirman lo anterior, al argumentar que la humedad del suelo se relaciona positivamente con la riqueza de especies, que a su vez puede aumentar los microbios en el suelo (Liu *et*

al. 2021). Por su parte, Schade *et al.* (2002), mencionan que la producción de materia orgánica y la presencia de los árboles ribereños (Sabater *et al.* 2000) permiten retener y remover la disponibilidad de los nutrientes a lo largo del bosque ribereño y del medio acuático. En este sentido cobra importancia la generación de estos microambientes para el establecimiento y diversificación de especies formadoras del suelo, entre ellas, los hongos como especies altamente sensibles a la desecación y a la radiación solar, y componente principal en la consolidación de la estructura de los bosques en condiciones favorables (Frac *et al.* 2018). Igualmente, las especies de sucesión temprana e intermedia en forma de pequeñas islas (nucleación) permite crear la conectividad entre los parches de vegetación a lo largo del corredor ribereño y en áreas adyacentes, utilizando a los ríos como dispersores de semillas para generar meta comunidades (Araujo-Calçada *et al.* 2013), y además promover el flujo de la diversidad genética en especies arbóreas de sucesión temprana e intermedia a través de dispersión anemócora y zoócora (Ruiz-Montoya *et al.* 2022) en el corredor ribereño. Con base en estos antecedentes, se recomienda que antes de hacer una propuesta de restauración se realice un inventario florístico de las especies adaptadas a las condiciones edafoclimáticas del área objetivo con el fin de adaptar y modificar las estrategias de restauración de acuerdo con las zonas específicas.

CONCLUSIONES

Las condiciones de los bosques ribereños en el trópico húmedo de México se encuentran en un proceso de regeneración y con niveles variados de perturbación. Por lo anterior, se propone que en los sitios con mayor alteración se establezcan estrategias de restauración activa, mientras que para los sitios con menor perturbación se recomienda la restauración pasiva. Asimismo, aquellas zonas que requieran interconectividad y generación de corredores biológicos deben adoptar las estrategias de restauración activa de nucleación. Particularmente, en el trópico húmedo se pueden proponer especies arbóreas de sucesión temprana (*B. simaruba*, *G. ulmifolia*, *S. mombin*, *P. lindennii* y *T. havanensis*), intercaladas con especies de sucesión tolerantes a la sombra intermedia (*B. alicastrum*, *V. lindelli*, *L. platypus*, *P. americana* y *C. alliodora*), especies de reproducción por estacas (*G. sepium*, *G. ulmifolia* y *S. humboldtiana*) y especies arbustivas como *M. calabura*, *M. splendens*, entre otros con la finalidad de recuperar la estructura y la diversidad de especies vegetales a lo largo del corredor ribereño y de mitigar el impacto de las inundaciones rápidas durante las temporadas de lluvias como se señaló anteriormente.

Finalmente, es importante considerar el empleo de plántulas de especies arbóreas y arbustivas nativas con mayor nivel de reclutamiento en los sitios de interés para la restauración, debido a que funcionan como bancos de germoplasma que permiten el acceso a plántulas para res-

taurar sitios perturbados y con ello, disminuir el costo de la restauración y aumentar su rápida adaptación en los sitios a restaurar. Además, esto permite minimizar los impactos negativos de las alteraciones humanas, recuperar la estructura y diversidad de especies vegetales con utilidad para monitorear las condiciones ecológicas de recuperación.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Victorio Moreno-Jiménez, trabajó en campo, diseñó las propuestas, redactó la versión inicial y final del manuscrito. Abisag Antonieta Ávalos Lázaro, trabajó en campo, apoyó en el diseño de las propuestas de restauración y corrección final del manuscrito. Santa Dolores Carreño Ruiz, revisó y aportó sugerencias en la redacción del manuscrito. José Juan Zúñiga Aguilar revisó y aportó ideas en la redacción del manuscrito. Rubén Monroy Hernández, revisó de manera general el manuscrito y correcciones en la redacción. Lilia María Gama Campillo, revisó el manuscrito y aportó ideas en la redacción.

FINANCIAMIENTO

Este trabajo fue apoyado en su momento por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en los estudios previos de campo en forma de beca otorgada al primer autor.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los ejidatarios colindantes al corredor ribereño del río Tacotalpa por permitir el acceso a los sitios de estudio.

A la Dirección de la Facultad Maya de Estudios Agropecuarios de la Universidad Autónoma de Chiapas y por el apoyo brindado al grupo colegiado BAST (Biotecnología Agropecuaria Sustentable del Trópico) al que pertenecen la mayoría de los colaboradores de este manuscrito.

REFERENCIAS

Arasa-Gisbert R, V Arroyo-Rodríguez, JJ Ortiz-Días, E Martínez. 2021. Regeneración de plantas leñosas en fragmentos de bosque tropical húmedo: estructura de la comunidad y registros nuevos para Chiapas, Tabasco y México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92: e923502. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3502>

Araujo-Calcada E, D Closset-Kopp, E Gallet-Moron, J Lenoir, M Reve, M Hermy, G Decocq. 2013. Streams are efficient corridors for plant species in forest metacommunities. *Journal of Applied Ecology* 50: 1152-1160. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12132>

Arias M, R Kariyat, K Wahl, S Mendez, J Chavana, B Chrisoffer. 2021. Do early-successional weeds facilitate or compete with seedlings in forest restoration? Disentangling abiotic versus biotic factors. *Ecological Solutions and Evidence* 2(3): e12095. DOI: <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12095>

Clements FE. 1936. Nature and structure of the climax. *Journal of Ecology* 24: 252-284. DOI: <https://doi.org/10.2307/2256278>

Corbin JD, KD Holl. 2012. Applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management* 265: 37-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.013>

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

Díaz-Triana JE, O Vargas-Ríos, N Rodríguez-Eraso. 2023. La nucleación: una alternativa para la restauración ecológica de bosques neotropicales. *Ecología Austral* 33(3):641-992. DOI: <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.3.0.2134>

Frac M, SE Hannula, M Belka, M Jedryczka. 2018. Fungal biodiversity and their role on soil health. *Frontiers in Microbiology* 9: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00707>

Gama-Campillo LM, C Villanueva-García, HM Díaz-López, R Collado, MJ Moguel-Ordoñez. 2019. Vulnerabilidad al cambio climático. In CONABIO eds. La biodiversidad en Tabasco. Estudio de Estado. p 81-84.

Gann, GD, T McDonald, B Walder, J Aronson, CR Nelson, J Jonson, J Hallet, C Eisenberg, MR Guariguata, J Liu, F Hua, C Echeverria, E Gonzales, N Saw, K DeCler, KW Dixon. 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. *Restoration Ecology* 27(1): S1-S46. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13035>

García E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México: UNAM - Serie de libros. 90 p.

Giraldo LP, J Chará, AM Chará Serna, YP Ramírez. 2020. Restauración de corredores ribereños en paisajes ganaderos de la zona andina colombiana: efectos tempranos en el ambiente acuático. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y Naturales* 44(171): 652-664. DOI: <https://doi.org/10.18257/racefyn.1063>

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: 1202-1214. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01573.x>

Howe H, C Martínez-Garza. 2014. Restauración experimental. *Botanical Sciences* 92: 459-468. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.146>

Liu L, K Zhu, SMB Krause, S Li, X Wang, Z Zhan, M Shen, Q Yang, J Lian, X Wang, W Ye, J Zhan. 2021. Changes in assembly processes of soil microbial communities during secondary succession in two subtropical forests. *Soil Biology and Biochemistry* 154: 108-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108144>

López-Barrera F, C Martínez-Garza, 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>

Maldonado-Sánchez EA, F Maldonado-Mares. 2010. Estructura y diversidad arbórea de una selva alta perennifolia en Tacotalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia* 26: 235-245. Consultado el 10 dic. 2023. Disponible en: <https://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/150>

Martínez AJV. 2014. Sucesión vegetal en bordes de bosques de pínabete (*Abies guatemalensis* Rehder) del occidente de Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 64-77.

Martínez ML, F López-Barrera. 2008. Special issue: restoring and designing ecosystems for a crowded planet. *Ecoscience* 15: 1-5. Consultado el 11 feb. 2024. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/42901955>

- Martínez-Ramos M, X García-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/botsoci.1758>
- Meli P, L Ruiz, R Aguilar, A Rabasa, JM Rey-Benayas, 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: 181-193. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311118>
- Meli P, M Martínez-Ramos, JM Rey-Benayas. 2013. Selecting species for passive and active riparian restoration in southern Mexico. *Restoration Ecology* 21: 163-165. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00934.x>
- Meli P, M Martínez-Ramos, JM Rey-Benayas, J Carabias. 2014. Combining ecological, social and technical criteria to select species for forest restoration. *Applied Vegetation Science* 17: 744-753. DOI : <https://doi.org/10.1111/avsc.12096>
- Menninger HL, MA Palmer. 2006. Restoring communities: From theory to practice. In Falk DA, MA. Palmer, JB. Zedler eds. *Foundations of restoration ecology*. Washington. Island Press. p. 88-112.
- Moreno-Jiménez V, LM Gama-Campillo, S Ochoa-Gaona, WM Contreras-Sánchez, EE Mata-Zayas, N del C Jiménez-Pérez, AA Ávalos-Lázaro. 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: 421-431. DOI: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n2.87087>
- Moreno-Jiménez V, LM Gama-Campillo, A Romero-García, S Ochoa-Gaona, WM Contreras-Sánchez, N del C Jiménez-Pérez, EE 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: <https://doi.org/10.21829/abm126.2019.1487>
- Moreno-Jiménez V, O Castillo-Acosta, LM Gama-Campillo, J Zavala-Cruz, MA Ortiz- Pérez. 2017. Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tocalpa, Tabasco, México. *Madera y Bosques* 23: 91-109. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2017.231510>
- Naiman RJ, H Décamps, ME McClain. 2005. Riparia. Ecology, conservation, and management of streamside communities. London. Academic Press. 415 p.
- Ortiz-Pérez MA, C Slebe, S Cram. 2005. Diferenciación Ecogeográfica de Tabasco. In Bueno Álvarez JF, S Santiago eds. *Biodiversidad del Estado de Tabasco*. Instituto de Biología México: UNAM-CONABIO. p. 305-322.
- Palmer MA, JB Zedler, DA Falk. 2016. Ecological theory and restoration ecology. In Palmer MA, JB Zedler, DA Falk eds. *Foundations of restoration ecology* Second edition. Washington. p. 3-26. Consultado el 20 ene. 2024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321680535_Foundations_of_restoration_ecology_Second_edition
- Pennington TD, J Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. México: Fondo de Cultura Económica. 511 p.
- Rosas Ortiz V. 2004. Estrategias de establecimiento, crecimiento y tolerancia a la sombra en un bosque caducifolio maduro de la Cornisa Cantábrica. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales* 20: 105-109. Consultado el 24 feb. 2024. Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/45631/1/Rozas_Estrategias.pdf
- Ruiz-Montoya L, MZ López-López, C Lorenzo, M García-Bautista, N Ramírez-Marcial. 2022. Variación genética de cuatro especies de árboles tropicales de la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. *Acta Botanica Mexicana* 128: e1847. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1847>
- Sabater F, A Butturini, E Martí, I Muñoz, A Romani, J Wray, S Sabater. 2000. Effects of riparian vegetation removal on nutrient retention in Mediterranean stream. *Journal of the North American Benthological Society* 19: 609-620.
- Sarvade S, B Gupta, M Singh. 2016. Composition, diversity and distribution of tree species in response to changing soil properties with increasing distance from water source – a case study of Gobind Sagar Reservoir in India. *Journal of Mountain Science* 13: 522-533. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s11629-015-3493-y>
- Schade JD, E Marti, JR Welter, SG Fisher, NB Grimm. 2002. Sources of nitrogen to the riparian zone of a desert stream: implications for riparian vegetation and nitrogen retention. *Ecosystems* 5: 68-79. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0056-6>
- SER (Society for Ecological Restoration International). 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. 13 p. Consultado el 05 ene. 2024. Disponible en: https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/ser_publications/ser_primer.pdf
- Vargas RO. 2011. Restauración ecológica; Biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana* 16: 221-246. <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v16n2/v16n2a17.pdf>
- Whittaker, R. H. y Levin, S. A. 1977. The role of mosaic phenomena in natural communities. *Theoretical Population Biology* 12: 117-39.
- Whoner PJ, SA Laymon, JE Stanek, SL King, RJ Cooper. 2021. Early successional riparian vegetation is important for western Yellow-billed Cuckoo nesting habitat. *Restoration Ecology* 29: e13376. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13376>
- Williams-Linera G, C Álvarez-Aquino, E Hernández-Ascensión, M Toledo. 2011. Early sucesional sites and the recovery of vegetation structure and tree species of the tropical dry forest in Veracruz, Mexico. *New Forests* 42: 131-148. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-010-9242-8>
- Wilson SJ, NS Alexandre, KD Holl, JL Reid, R Zahawi, D Celentano, Sprenkle-Hippolite, L Werden. 2021. Nucleación aplicada guía de restauración para bosques tropicales. Conservation International. Consultado el 20 nov. 2023. Disponible en: <https://www.conservation.org/docs/default-source/publication-pdfs/ci-nucleacion-aplicada-guia-de-restauracion-para-bosques-tropicales.pdf>
- Zarco-Espinoza VM, JI Valdez-Hernández, G Ángeles-Pérez, O Castillo-Acosta. 2010. Estructura y composición de la vegetación arbórea del Parque Estatal Agua Blanca, Macuspana, Tabasco. *Universidad y Ciencia* 26: 1-17.
- Zavala-Cruz J, DJ Palma-López, CR Fernández Cabrera, AL Castañeda, ES Torres. 2011. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva, Tabasco, México. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. 83 p.

Recibido: 15.10.23

Aceptado: 23.11.24

