

RESTAURACIÓN DEL BOSQUE DE NIEBLA CON UN ENFOQUE DE PAISAJE

CLOUD FOREST RESTORATION WITH A LANDSCAPE APPROACH

López-Barrera, F.^{1*}; Bonilla-Moheno, M.²; Toledo-Aceves, T.¹

¹Red de Ecología Funcional. Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), Carretera Antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz 91070, México. Instituto de Ecología, A.C. (fabiola.lopez@inecol.mx y tarin.toledo@inecol.mx). ²Red de Ambiente y Sustentabilidad. Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), Carretera Antigua a Coatepec No. 351, El Haya, Xalapa, Veracruz 91070, México (martha.bonilla@inecol.mx).

*Autor de correspondencia: fabiola.lopez@inecol.mx

RESUMEN

Ante la degradación, fragmentación y pérdida de los bosques a nivel global, existe la meta de la comunidad internacional de restaurar 150 millones de hectáreas de tierras degradadas y deforestadas para el año 2020. México ha manifestado su compromiso de iniciar la restauración en 8.5 millones de hectáreas para el año 2020, lo que supone enormes esfuerzos económicos, sociales y científicos. En este documento se presenta una síntesis del concepto de restauración y de las técnicas utilizadas particularmente en la restauración del bosque de niebla, un ecosistema altamente fragmentado y de restringida distribución. Se discuten las estrategias de la restauración ecológica considerando las particularidades de los paisajes del bosque de niebla y los retos para establecer prácticas viables que promuevan la mayor fidelidad ecológica. La meta final será crear mosaicos forestales con integridad ecológica y socialmente viables.

Palabras clave: Bosque mesófilo de montaña, degradación forestal, mosaicos forestales.

ABSTRACT

In the face of global degradation and fragmentation and loss of forests, the goal of restoring 150 million ha of degraded and deforested land by the year 2020 has been established. Mexico has committed to undertake the restoration of 8.5 million ha for completion by 2020, a target that will require an enormous economic, social and scientific effort. This article is a short summary of the restoration concept and the particular techniques utilized in cloud forest restoration. Cloud forest is a highly fragmented ecosystem of very restricted distribution. Strategies for ecological restoration are discussed, considering the particular characteristics of cloud forest landscapes and the challenges of establishing viable practices in order to promote greater ecological fidelity. The ultimate goal is to create forest mosaics featuring both ecological integrity and social viability.

Keywords: Cloud forest, forest degradation, forest mosaics.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 1, enero. 2017. pp. 29-36.

Recibido: octubre, 2016. **Aceptado:** diciembre, 2016.

INTRODUCCIÓN

¿Qué es la restauración ecológica de bosques?

Se ha estimado que entre 2000

y 2012 el mundo ha perdido cada día el equivalente a 68000 campos de fútbol en todo tipo de ecosistemas forestales (50 campos de fútbol por minuto; Hansen et al., 2013). Ante los efectos negativos en cascada que produce la pérdida de bosques nativos, han surgido políticas de reforestación internacionales, nacionales y regionales, y como consecuencia de ello, la superficie de bosques plantados aumenta y actualmente representa 7% (264 millones de ha) del área total de cobertura forestal a nivel mundial (FAO, 2010). Si bien las estadísticas pueden ser alentadoras, la realidad es que la reforestación no es sinónimo de restauración. Sin planeación, seguimiento y el establecimiento de técnicas complementarias, la reforestación no asegurará la recuperación integral de los ecosistemas boscosos. Por ello, la restauración ecológica ha surgido como un proceso más integral y se ha definido como el proceso de "ayudar a la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido" (Society for Ecological Restoration, 2004). La restauración se ha convertido en una actividad urgente en la mayoría de los ecosistemas forestales; a nivel mundial existe la meta de restaurar 150 millones de hectáreas de tierras degradadas y deforestadas para el año 2020 (Bonn Challenge). La meta general de la restauración consiste en recuperar procesos ecológicos que permitan a los ecosistemas ser resistentes y autosuficientes, con la mayor fidelidad ecológica en cuanto

a su estructura (fisonomía, tamaño de los individuos, y estratos de vegetación entre otros), función (productividad, flujo de energía, captura de carbono, ciclos de nutrientes) y diversidad (composición de especies). Sin embargo, la meta particular depende de varios factores, tales como el estado de degradación del sitio, así como la magnitud, frecuencia, duración y tipo de factores que han dañado o destruido el ecosistema. Todos estos factores determinan qué tan realista es establecer como meta el regresar un ecosistema a las condiciones previas a la perturbación. Esto también define los conceptos alternos a la restauración, tales como la rehabilitación, creación y reemplazo. La Figura 1, muestra el esquema llamado "escalera de la restauración" donde se ordenan los conceptos respecto a gradientes de deterioro del sitio al iniciar el proyecto, gradientes de

recuperación de la biodiversidad, servicios del ecosistema, tiempo y costos que lleva realizar cada proceso (Modificado de Chazdon, 2008).

Restauración ecológica del bosque de niebla

Las experiencias tanto de estudios como de prácticas de restauración del bosque de niebla han aumentado considerablemente en las últimas décadas. En una revisión sobre trabajos del bosque de niebla en México, Williams-Linera (2015) documentó que de 138 artículos publicados en los últimos 20 años, 13% correspondieron a estudios de restauración, principalmente realizados en el estado de Veracruz y publicados en los últimos 10 años. En general, podemos dividir las técnicas de restauración contemporáneas en dos grandes rubros: **restauración pasiva y restauración activa**. El primero es un tanto inapropiado, pues este proceso es activo ya

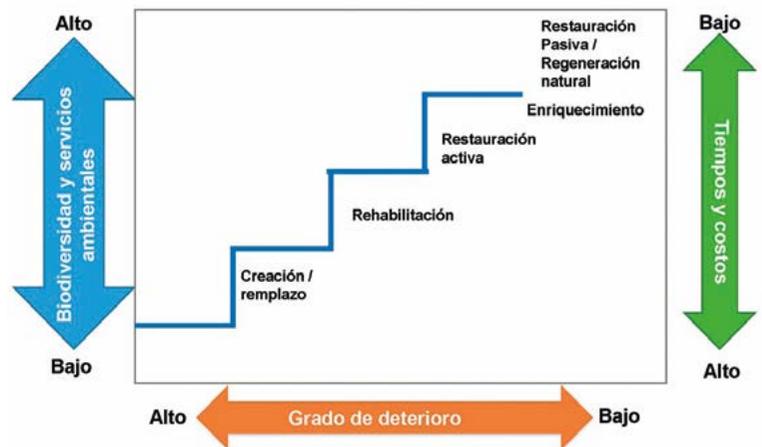


Figura 1. Esquema llamado "la escalera de la restauración". Modificado de Chazdon (2008).

que se basa en la protección del sitio contra los principales factores de estrés o alteración y en permitir que ocurran los procesos de sucesión y colonización natural; en la mayoría de los casos, contemplan un plan de monitoreo de la trayectoria de recuperación. En el caso de los ecosistemas boscosos, la regeneración natural o restauración pasiva se da al excluir la perturbación o disturbio de los sitios para protegerlos (i.e. cercas que excluyen al ganado) o abandonarlos (se saca completamente el ganado dentro del sitio y de los alrededores y se abandona). En el bosque de niebla los estudios sobre regeneración natural o sucesión secundaria después del disturbio son la base para la restauración pasiva (Santiago-Pérez y Jardel 1993; González-Espinosa et al., 2006; Muñoz et al., 2012), y existen estudios en marcha comparando la eficiencia de esta última contra la

restauración activa (Williams-Linera *et al.*, 2015; López-Barrera *et al.*, 2016). Un ejemplo de estas prácticas se encuentra en la servidumbre ecológica Las Cañadas, en Huatusco, Veracruz. En 1995 se excluyó al ganado en 101 ha, permitiendo su regeneración natural (Figura 2), y en otras 60 ha se sembraron árboles de especies nativas y se realizaron limpiezas para reducir la competencia con pastos. Actualmente está en marcha una evaluación de la eficiencia de ambas prácticas en la recuperación del bosque de niebla (Trujillo-Miranda *en prep.*). En cuanto a la "restauración activa" existe una gran diversidad de técnicas, como las plantaciones mixtas en sitios abiertos, la eliminación de especies exóticas, el enriquecimiento de bosques secundarios o de plantaciones, el establecimiento de plantaciones mixtas en sitios abiertos, la nucleación, translocación de suelos, establecimiento de perchas para atraer dispersores, creación de refugios de fauna para atraer biodiversidad, y siembra directa dentro de bosques secundarios o en sitios abiertos, entre otras. La elección de la técnica dependerá de la meta buscada. A continuación se mencionan las que se han probado o recientemente implementado en el bosque de niebla.

Plantaciones mixtas de especies nativas

La plantación de especies nativas es la técnica más comúnmente probada. Algunos estudios han evaluado plantaciones de una sola especie con importancia para la conservación (Montes-Hernández y López-Barrera 2013), otras, dos especies (Ortega-Pieck *et al.*, 2011), la mayoría entre tres y cinco especies (Pedraza y Williams-Linera 2003; Aquino *et al.*, 2004; Williams-Linera *et al.*, 2015), y pocos son los estudios que abordan mayor diversidad en una sola plantación (Quintana-Ascencio *et al.*, 2004; Ramírez-Marcial *et al.*, 2006; varios estudios en proceso en el centro de Veracruz). En su conjunto, estos estudios han proporcionado valiosa información acerca de la importancia del efecto del micro-sitio en la supervivencia y el crecimiento diferencial de las especies nativas. Estos, han identificado un conjunto de géneros y especies con potencial para restaurar sitios totalmente expuestos (p.ej. *Alnus acuminata*, *Carpinus caroliniana*, *Clethra* spp., *Liquidambar* spp, *Trema micrantha*, *Dendropanax arboreus*, *Meliosma dentata*, *Platanus mexicana*, *Quercus* spp). Es de resaltar la práctica de restauración llevada a cabo en un área privada de conservación del bosque de niebla de los Tuxtlas, utilizando 55 especies



Figura 2. Restauración pasiva del bosque de Niebla en el centro de Veracruz. Fuente: Servidumbre ecológica "Las Cañadas", Huatusco, Veracruz, México. www.bosquedeniebla.com.mx

nativas en un área de 83 ha (<http://laotraopcion.com/reforestacion.html>). Actualmente en dicha área se evalúa el éxito de la restauración, utilizando a los anfibios como grupo indicador del avance de la recuperación (Díaz-García, 2016).

Eliminación de especies exóticas

La velocidad y la trayectoria de recuperación de un bosque, están determinadas por factores relacionados con la historia de uso del suelo, la vegetación inicial y matriz del paisaje en que se encuentran inmersos los sitios (López-Barrera *et al.*, 2016). En etapas tempranas de la sucesión, algunas especies de pastos, arbustos y helechos pueden inhibir la regeneración arbórea y competir con plántulas y juveniles tanto por luz como por agua y nutrientes. En algunos casos la restauración puede consistir en la extracción única o periódica de estas especies para favorecer a otras, y reactivar el proceso sucesional. En paisajes de bosques de niebla se ha identificado a las especies exóticas *Pteridium arachnoideum* (helecho) y *Cynodon plectostachyus* (pasto) como barreras para la regeneración de las especies leñosas, por lo que se han establecido distintas estrategias para reducir su dominancia (Ortega-Pieck *et al.*, 2011; Aguilar-Dorantes *et al.*, 2014; Muñiz-Castro *et al.*, 2015).

Enriquecimiento en bosques secundarios y bajo plantaciones

No todos los bosques secundarios tienen altos niveles de biodiversidad; en muchos de ellos el constante disturbio o la extracción selectiva ha provocado la pérdida de especies. En estos casos, la introducción de especies claves puede ser muy útil, de alto valor de con-

servación (Figura 3), y beneficiosos para los dueños de los bosques, para ayudar a los procesos de regeneración natural, sin la eliminación de los individuos valiosos ya presentes en el bosque. En bosques de niebla secundarios donde se han introducido especies arbóreas han presentado mayor supervivencia bajo el dosel que en zonas abiertas (Álvarez-Aquino *et al.*, 2004, Quintana-Ascencio *et al.*, 2004, Muñiz-Castro *et al.*, 2015). Sin embargo, es importante resaltar que las tasas de crecimiento son generalmente mayores en zonas más expuestas. Una notable excepción son las especies del género *Quercus*, las cuales en general tienden a mostrar un alto porcentaje de supervivencia en gran variedad de ambientes y, por ello, se han reconocido como un género que puede ser la guía de la restauración en el bosque de niebla (González-Espinosa *et al.*, 2007; Muñiz Castro *et al.*, 2014). Otros estudios han evaluado introducir especies nativas de sucesión intermedia y tardía por ejemplo: *Juglans pyriformis*, *Magnolia dealbata*, *Oreomunnea mexicana*, bajo plantaciones de distintas especies nativas y no nativas (*Pinus* spp., *Alnus acuminata*, *Trema micrantha*, *Liquidambar macrophylla*), mostrando que su establecimiento temprano es factible (Avendaño-Yáñez *et al.*, 2014; Avendaño-Yáñez *et al.*, 2016, Ramírez-Bamonde *et al.*, 2005).

Nucleación de árboles, arbustos y semillas

La nucleación en el contexto de la restauración ecológica se ha definido como un conjunto de técnicas que tienen como objetivo la formación de micro-hábitats en las que una o varias especies forman centros de

establecimiento o núcleos para el subsecuente crecimiento de otras plantas colonizadoras (Bechara *et al.*, 2016). Una de las estrategias exitosas de siembra de árboles con diferentes tasas de crecimiento es en forma de densos núcleos

que generan un dosel continuo que inhibe el crecimiento de pastos (Figura 4A). Existen otras técnicas de más bajo costo que podrían clasificarse como nucleación de semillas, la cual consiste en remover el pasto exótico (*Cynodon plectostachyus*) en varias áreas dispersas de 1-2 m² (Figura 4 B y C), con el fin de estimular la germinación y emergencia de especies existentes en el banco de semillas y, a mediano plazo, convertirse en núcleos de regeneración en todo el sitio (Williams-Linear *et al.*, 2015, Williams-Linera *et al.*, 2016). Existen experiencias valiosas en la creación de núcleos con grupos de árboles de diferentes tasas de crecimiento; estas últimas iniciaron en 2008

y han involucrado el uso de hasta 76 especies de árboles en diferentes áreas del centro de Veracruz (Lucio-Palacios *et al.*, 2016).

Siembra directa de semillas en bosques secundarios

Una manera de acelerar la sucesión es la introducción de semillas de especies arbóreas, lo cual presenta la ventaja de tener un bajo costo, pero la desventaja de que la sobrevivencia de las semillas y su germinación pueden ser bajas debido a la desecación, arrastre o depredación de las semillas o plántulas recién germinadas. Los estudios de siembra directa en bosques de niebla son escasos (Williams-Linera y Pedraza 2005; Atondo-Bueno *et al.*, 2016) y la aplicación de esta práctica a gran escala



Figura 3. Actividades de enriquecimiento en nueve fragmentos de bosque de niebla degradado en la subcuenca de Pixquiac. Se han introducido 13 especies nativas incluidas en alguna categoría de amenaza y con alto valor maderable para los pobladores locales (Landerolozada, en prep.). A. *Magnolia dealbata* B) *Meliosma alba* y C) actividades de siembra dentro de los bosques. Fotos: Constanza Pinto (A, C), Tarín Toledo (B).

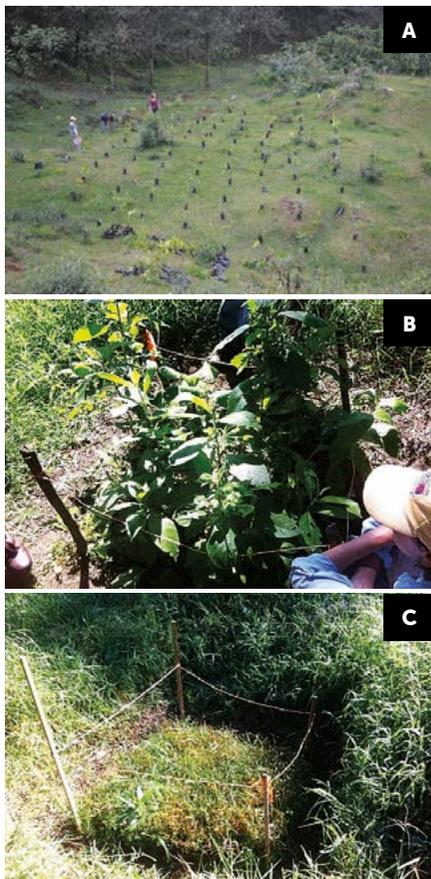


Figura 4. A: Establecimiento de una plantación núcleo con 182 individuos de ocho especies nativas, con una separación de 1.5 m entre plantas en un potrero abandonado en el centro de Veracruz, México. B: Núcleo (1x1 m) en el que se removió el pasto periódicamente y C: Área control donde no se removió el pasto. Fotos: F. López-Barrera.

está limitada por la falta de conocimiento de las respuestas a nivel de especie (Figura 5).

Perchas para atraer dispersores y el papel de las aves en la restauración pasiva

La dispersión de semillas por vertebrados es uno de los principales mecanismos a través de los cuales los propágulos de especies de bosque logran llegar a sitios degradados (López *et al.*, 2016). Por ello, la utilización de perchas artificiales hechas con materiales naturales con el fin de atraer aves y semillas que transportan, ha sido utilizada en algunos proyectos en el bosque de

niebla en el centro de Veracruz (Lucio-Palacio *et al.*, 2016), aunque su efectividad aún no ha sido evaluada. Sin embargo, se ha demostrado la importancia de las aves residentes y migratorias en la dispersión de semillas de árboles y arbustos pioneros en áreas muy degradadas de este ecosistema (Hernández-Ladrón de Guevara *et al.*, 2012; Baltazar Hernández, 2014).

Hacia una restauración del bosque de niebla con un enfoque de paisaje

A escala de paisaje, la restauración de bosques implica el manejo integral de todas sus funciones en áreas degradadas o deforestadas, con el objetivo de fortalecer su resiliencia e integridad ecológica (Elliot *et al.*, 2013). Los paisajes del bosque de niebla son altamente heterogéneos ya que este tipo de bosque es naturalmente discontinuo y sus remanentes están rodeados de una matriz de otras formaciones vegetales y usos del suelo (CONABIO 2010; González-Espinosa *et al.*, 2012). Los ecosistemas de referencia para la restauración presentan una alta incidencia de especies endémicas y un gran recambio de especies entre fragmentos, incluso muy cercanos (Williams-Linera *et al.*, 2013). En este contexto para definir la meta de la restauración se deberá realizar una evaluación de las características del paisaje, considerando los remanentes más cercanos a los sitios de restauración y el mayor número de bosques posibles, los cuales permitirán tener variación en la estructura y función que se pretende recuperar. En estos paisajes es también crucial saber dónde y cuándo es factible, ecológica y socialmente, utilizar la diversidad de técnicas disponibles para la restauración. Como lo indican Ramírez-Marcial y González-

Espinosa (2016), se debe implementar un marco de colaboración para construir conjuntamente modelos o esquemas de restauración de bosques a diferentes escalas, desde el nivel de cada propietario hasta el del paisaje. La Figura 6 muestra las técnicas que se pueden utilizar en áreas relativamente más pequeñas y con diferente aporte a la biodiversidad. Las plantaciones densas de especies nativas incrementan la biodiversidad y se podrían realizar en áreas relativamente pequeñas, pero dispersas en el paisaje para fomentar la nucleación. Estrategias para áreas intermedias puede ser la restauración pasiva, el enriquecimiento de bosques degradados o las plantaciones mixtas de especies de rápido crecimiento. Otras estrategias para áreas grandes son el establecimiento de cercas vivas o árboles aislados



Figura 5. A: Introducción directa de semillas pre-hidratadas de *Oreomunnea mexicana* a nivel experimental en un bosque secundario. B: Experimento de introducción de semillas de tres especies del género *Quercus*, donde se prueba la germinación y remoción de semillas protegidas contra las no protegidas de la depredación de ardillas en un bosque degradado. Fotos: F. López-Barrera.

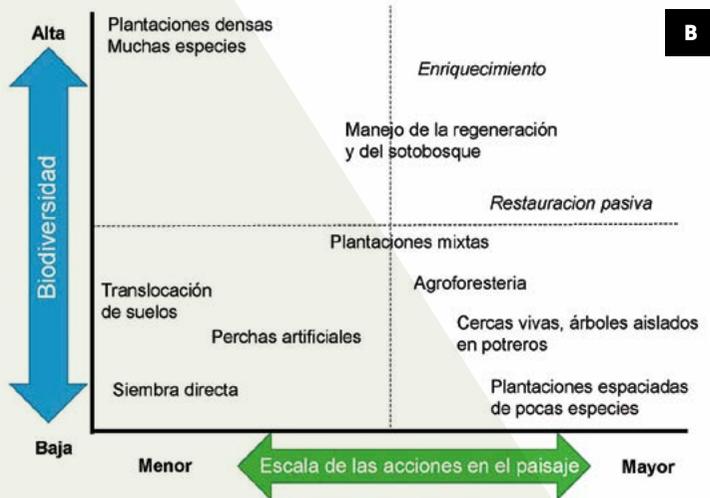


Figura 6. A: Paisaje del bosque de niebla en el centro de Veracruz, México, que muestra el mosaico de usos de suelo. Foto de T. Morales Vera. B: Esquema de actividades de restauración de bosques que podrían realizarse en los mosaicos del bosque de niebla, considerando un gradiente de recuperación de biodiversidad y en diferentes escalas de las acciones. Modificado de Lamb (2007).

en zonas deforestadas que formen corredores o “peldaños”, que permitan el incremento de la biodiversidad y el mantenimiento de áreas productivas. El incremento de la diversidad local en los cultivos agroforestales, tales como en los cafetales, y el establecimiento de sistemas silvopastoriles, son cruciales en la restauración a escala de paisaje. Si en los paisajes ya existen plantaciones mono-específicas, como las especies de pino, pueden buscarse estrategias para enriquecerlas y aumentar su valor. Aunque debe ser considerado como un marco general, esto muestra la diversidad de técnicas que podrían utilizarse a escala de paisaje y no solo implementar recetas de reforestación masiva, uniforme y con pocas especies.

Retos de la ecología del bosque de niebla

Se ha documentado que más de 60% de las 762 especies incluidas en una evaluación de árboles del bosque

de niebla en México se encuentran bajo alguna categoría de amenaza (González-Espinosa *et al.*, 2011). Desde la ecología de la restauración, se necesita generar información sobre fenología, germinación, y establecimiento temprano y de genética de las poblaciones existentes para una gran cantidad de especies, con el fin de rescatarlas, y a los organismos asociados a éstas. Agrupar a las especies de árboles en diferentes gremios funcionales con base en su comportamiento puede ser útil para establecer propuestas de restauración apropiadas para diferentes sitios, y esto generará información valiosa y extrapolable a otras regiones del bosque de niebla. La evaluación del éxito de los proyectos de restauración ecológica del bosque de niebla se ha realizado en estudios de corto plazo y son escasas las evaluaciones del éxito a largo plazo (Williams-Linera *et al.*, 2016). Faltan estudios en las áreas deforestadas de bosque que evalúen la efectividad de las técnicas de nucleación a largo plazo, la translocación de suelos y bancos de semillas, efectividad de las perchas para aves y refugios para fauna, el rol diferencial de aves y mamíferos (murciélagos) en la restauración pasiva, y las implicaciones genéticas de la introducción de especies amenazadas. Cuando las diferentes áreas inician un proceso de restauración, las técnicas implementadas deberán ser acordes con las condiciones del sitio y del paisaje.

La restauración ecológica es una actividad muy costosa y de largo plazo. Es muy importante generar criterios que permitan determinar cuándo la restauración activa es necesaria y qué técnicas son prioritarias (López-Barrera *et al.*, 2016). Estos criterios de factibilidad deben evaluarse dentro de los contextos socioeconómicos y culturales particulares. Es necesario establecer un plan nacional de restauración de bosques y una estrategia particular para el bosque de niebla que considere las peculiaridades del ecosistema, su enorme biodiversidad en riesgo y su contexto paisajístico. La restauración en mosaicos forestales debe lograr incrementar la integridad ecológica y simultáneamente brindar los servicios ambientales a los habitantes que dependen de estos bosques. Todas estas acciones deben acompañarse de incentivos económicos para detonar los procesos, metas localmente diseñadas y formación de capacidades, y así asegurar la continuidad de los procesos de restauración.

AGRADECIMIENTOS

A las organizadoras del simposio y al proyecto CONACYT Ciencia Básica 2014/01 (Referencia 238831) bajo el cual se han realizado muchas de las actividades de restauración que se muestran en este documento.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Dorantes K., Mehltreter K., Vibrans H., Mata-Rosas M., Esqueda-Esquivel V.A. 2014. Repeated selective cutting controls Neotropical bracken (*Pteridium arachnoideum*) and restores abandoned pastures. *Invasive Plant Science and Management* 7:580-589.
- Atondo-Bueno E.J., López-Barrera, F., Bonilla-Moheno, M., Williams-Linera, G., Ramírez-Marcial, N. 2016. Direct seeding of *Oreomunnea mexicana*, a threatened tree species from Southeastern Mexico. *New Forests*, 47: 845–860.
- Alvarez-Aquino C., Williams-Linera G., Newton A.C. 2004. Experimental Native Tree Seedling Establishment for the Restoration of a Mexican Cloud Forest. *Restoration Ecology* 12:412–418.
- Bechara F.C., Dickens, S.J., Farrer, E.C., Larios, L., Spotswood, E.N., Mariotte, P., Suding, K.N. 2016. Neotropical rainforest restoration: comparing passive, plantation and nucleation approaches. *Biodiversity and Conservation*, 25(11), 2021-2034.
- Avendaño-Yáñez M.L., Sánchez-Velásquez L.R., Meave J.A., Pineda-López M.R. 2014. Is facilitation a promising strategy for cloud forest restoration? *Forest Ecology and Management* 329: 328–333.
- Avendaño-Yáñez M.L., Sánchez-Velásquez L.R., Meave J.A., Pineda-López M. R. 2016 Can Pinus plantations facilitate reintroduction of endangered cloud forest species? *Landscape and Ecological Engineering* 12: 99-104.
- Baltazar-Hernández S. 2014. La importancia de la dispersión de semillas en la recuperación del bosque mesófilo de montaña del centro de Veracruz. Tesis de Maestría, Posgrado Instituto de Ecología, A.C. Pp.107.
- Elliott S., Blakesley D., Hardwick K. 2013. Restoring Tropical Forests: A Practical Guide. Royal Botanic Gardens, Kew. Pp. 344
- Chazdon R.L. 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320(5882): 1458-1460.
- Díaz-García J.M. 2016. Diversidad funcional y de especies de anfibios en un Bosque Mesófilo de Montaña en restauración. Tesis de Maestría, Posgrado Instituto de Ecología, A.C.
- FAO. 2010. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Estudio completo, Roma.
- González-Espinosa M., Ramírez-Marcial N., Galindo-Jaimes L. 2006. Secondary succession in montane pine-oak forests of Chiapas, Mexico. En: *Ecology and conservation of neotropical montane oak forests*, 209-221. Springer Berlin Heidelberg.
- González-Espinosa M., Ramírez-Marcial N., Camacho-Cruz A., Holz S., Rey-Benayas J., M., Parra-Vázquez M. R. 2007. Restauración de bosques en territorios indígenas de Chiapas: modelos ecológicos y estrategias de acción. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 80: 11-23.
- González-Espinosa M., Meave J.A., Ramírez-Marcial N., Toledo-Aceves T., Lorea-Hernández F.G., Ibarra-Manríquez G. 2012. Los bosques de niebla de México: conservación y restauración de su componente arbóreo. *Ecosistemas* 21:36-54.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Kommareddy A. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342(6160): 850-853.
- Hernández-Ladrón de Guevara I., Rojas-Soto O.R., López-Barrera F., Puebla-Olivares F., Díaz-Castelazo C. 2012. Dispersión de semillas por aves en un paisaje de bosque mesófilo en el centro de Veracruz, México: su papel en la restauración pasiva. *Revista Chilena de Historia Natural* 85(1): 89-100.
- Landero-Lozada S.S. en prep. Plantaciones de enriquecimiento multispecíficas en un gradiente altitudinal en bosque mesófilo de montaña degradado, Veracruz, México. Tesis de maestría, Instituto de Ecología A.C.
- Lamb D. 2007. Identifying site-level options (pp 71-82) en Reitbergen-McCracken J. Maginnis S. y Sarre R. (eds.). *The Forest Landscape Restoration Handbook*. Earthscan. London.
- López-Barrera F., García-Franco J.G., Mehltreter K., Rojas-Soto O., Aguirre A., Landgrave R., Ortega-Pieck A., Montes-Hernández B., Aguilar-Dorantes K., Díaz-Sánchez A.A., Vázquez-Carrasco G., Rojas Santiago B.B. 2016. Ecología de la restauración del bosque nublado en el centro de Veracruz. Pp: 103-129. En *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. Eliane Ceccon y Cristina Martínez-Garza (eds.). CONABIO-CRIM-UNAM. México.
- Lucio-Palacio C.R., Ramírez Soto A.F., Villa Bonilla B., Sheseña Hernández I., Trujillo Santos O., Rodríguez Mesa R., Landa Libreros L., Gutiérrez Sosa G., Najib Farhat F., García Álvarez M. 2016. Alternativas para la restauración ecológica de los bosques nublados de México: capitalizando la experiencia para un mayor impacto. Pp: 153-176. En *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. Eliane Ceccon y Cristina Martínez-Garza (eds.). CONABIO-CRIM-UNAM. México.
- Montes-Hernández B., López-Barrera F. 2013. Seedling establishment of *Quercus insignis*: A critically endangered oak tree species in southern Mexico. *Forest Ecology and Management* 310: 927–934.
- Muñiz-Castro M.A., Williams-Linera G., Martínez-Ramos M. 2012. Dispersal mode, shade tolerance, and phytogeographical affinity of tree species during secondary succession in tropical montane cloud forest. *Plant Ecology* 213: 339-353.
- Muñiz-Castro M.A., Williams-Linera G., Benítez-Malvido J. 2015. Restoring montane cloud forest: establishment of three Fagaceae species in the old fields of central Veracruz, Mexico. *Restoration Ecology* 23:26–33.
- Pedraza R.A., Williams-Linera G. 2003. Evaluation of native tree species for the rehabilitation of deforested areas in a Mexican cloud forest. *New forests* 26: 83-99.
- Quintana-Ascencio P.F., Ramírez-Marcial N., González-Espinosa M., Martínez-Icó M. 2004. Sapling survival and growth of coniferous and broad-leaved trees in successional highland habitats in Mexico. *Applied Vegetation Science* 7: 81-88.
- Ramírez-Marcial N., Camacho-Cruz A., González-Espinosa M., López-Barrera F. 2006. Establishment, survival and growth of tree seedlings under successional montane oak forests in Chiapas, Mexico. En: Kappelle, M. Ed. *Ecology and Conservation of Neotropical Oak Forests*, 177-189, Ecological Studies No. 185, Springer, Berlín, Alemania.
- Ramírez-Marcial N., González-Espinosa M. 2016. Contextos socioambientales y opciones para la restauración del bosque nublado en Chiapas. Pp: 131-151. En *Experiencias mexicanas*

- en la restauración de los ecosistemas. Eliane Ceccon y Cristina Martínez-Garza (eds.). CONABIO-CRIM-UNAM. México.
- Ramírez-Bamonde E.S., Sánchez-Velásquez L.R., Andrade-Torres A. 2005 Seedling survival and growth of three species of mountain cloud forest in Mexico, under different canopy treatments. *New Forests* 30: 95-101.
- Williams-Linera G., Toledo-Garibaldi M., Hernández C. G. 2013. How heterogeneous are the cloud forest communities in the mountains of central Veracruz, Mexico? *Plant Ecology* 214: 685-701.
- Williams-Linera G. 2015. El bosque mesófilo de montaña, veinte años de investigación ecológica ¿qué hemos hecho y hacia dónde vamos? *Madera y Bosques* 21: 51-61.
- Williams Linera G., Pedraza Pérez R. A. 2005. Microhabitat conditions for germination and establishment of two tree species in the Mexican Montane cloud forest. *Agrociencia* 39:1405-3195.
- Williams-Linera G., López-Barrera F., Bonilla-Moheno M. 2015. Estableciendo la línea de base para la restauración del bosque de niebla en un paisaje periurbano. *Madera y Bosques* 21:89-101.
- Williams-Linera G., Bonilla-Moheno M., López-Barrera F. 2016. Tropical cloud forest recovery: the role of seed banks in pastures dominated by an exotic grass. *New Forests* 47:481-496.
- Williams-Linera G., Álvarez-Aquino C., Muñiz-Castro M. A., Pedraza R. A. 2016 Evaluación del éxito de la restauración del bosque nublado en la región de Xalapa, Veracruz. Pp: 81-101. En *Experiencias mexicanas en la restauración de los ecosistemas*. Eliane Ceccon y Cristina Martínez-Garza (eds.). CONABIO-CRIM-UNAM. México.

